

آبگرمکن های خورشیدی



فهرست

- چکیده..... ۸
- مقدمه..... ۹
- فصل اول : انواع آبگرم کن های خورشیدی..... ۱۲
- آبگرمکن های ترموسیفونی (سیستم با گردش طبیعی)..... ۱۳
- آبگرمکن های پمپی (سیستم با گردش آبیاری یا مدار باز) ۱۳
- آبگرمکن های خورشیدی خانگی..... ۱۴
- آبگرمکن های خانگی ترموسیفونی..... ۱۴
- آبگرمکن های خانگی پمپی..... ۱۸
- آبگرمکن های خورشیدی عمومی (سیستم گردش اجباری)..... ۱۸
- مشخصات فنی کلکتور آبگرمکن خورشیدی..... ۱۹
- سیستم گرمایش خورشیدی تهیه آبگرم بهداشتی..... ۱۹
- قسمتهای اصلی یک آبگرمکن خورشیدی..... ۲۳
- مخزن ذخیره آبگرم..... ۲۵
- طریقه محاسبه بهره حرارتی سیستم خورشیدی گرمایش و آبگرم مصرفی..... ۲۹
- فصل دوم : شناخت نوری جمع کننده ها..... ۳۲
- بازتاب و شکست در سطح مشترک عایق های الکتریکی..... ۳۴
- عبور و قابلیت بازتاب کلی یک روپوش یک لایه..... ۳۹

- ۴۱.....روپوش های چند لایه.....
- ۴۳.....بازده نوری کلی یک سیستم روپوش دار جذب کننده.....
- ۴۴.....روکشهای ضد بازتاب برای روپوش ها.....
- ۵۰.....روکش های جذب کننده انتخابی.....
- ۵۳.....متمركز کننده ها.....
- ۵۴.....آینه های سهوی و مدور.....
- ۵۷.....آینه های کروی.....
- ۶۱.....متمركز کننده های آبشخوری (استوانه ای).....
- ۶۵.....فصل سوم : سیستمهای حرارتی خورشیدی.....
- ۶۶.....سمت گیری رشته پانل ها.....
- ۷۰.....اندازه رشته پانلها.....
- ۷۱.....رشته های سری و موازی.....
- ۷۵.....مبدل های حرارتی.....
- ۷۹.....ذخیره سازی.....
- ۸۴.....فصل چهارم : کلکتورهای خورشیدی.....
- ۸۵.....انواع کلکتورها.....
- ۸۵.....جمع آوری حرارت خورشیدی بوسیله کلکتورهای صفحه تخت.....
- ۸۷.....مواد شفاف.....

- ۹۲..... کلکتورهای متمرکز کننده
- ۹۴..... اشکال متمرکز کننده ها
- ۹۴..... تعیین ضریب تمرکز صفحات منعکس کننده با مقطع سهمی
- ۱۰۰..... تحلیل حرارتی کلکتورها
- ۱۰۴..... منابع

چکیده

این پروژه به بررسی نحوه ی کار اجزای مختلف آبگرمکن خورشیدی، چگونگی جذب انرژی خورشید و در نهایت فرآیند تولید آبگرم می پردازد.

نحوه کارکرد آبگرمکن خورشیدی به این صورت است که سیستم های خورشیدی در روز های آفتابی از انرژی خورشید برای گرم کردن آبی که از داخل لوله ها عبور می کند استفاده می کنند. در سیستم گرمایشی مستقیم، آب در حین عبور از صفحات شیشه ای که در سقف خانه قرار دارند گرم می شوند. سپس آب گرم شده در یک مخزن ذخیره ی عایق شده که معمولاً در بالای صفحات قرار دارد ذخیره می شود.

مقدمه

انرژی ستاره خورشید یکی از منابع عمده انرژی در منظومه شمسی می باشد. این انرژی یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیر باز به روش های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. بحران انرژی در سال های اخیر، کشورهای جهان را بر آن داشته که با مسائل مربوط به انرژی، برخوردی متفاوت نمایند که در این میان جایگزینی انرژی های فسیلی با انرژی های تجدیدپذیر و از جمله انرژی خورشیدی به منظور کاهش و صرفه جویی در مصرف انرژی، کنترل عرضه و تقاضای انرژی و کاهش انتشار گازهای آلاینده با استقبال فراوانی روبرو شده است. طبق آخرین برآوردهای رسمی اعلام شده عمر این انرژی بیش از ۱۴ میلیارد سال می باشد. در هر ثانیه ۴/۲ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می شود. با توجه به وزن خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است. این کره نورانی را می توان به عنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده به حساب آورد.

کاربری انرژی خورشیدی به منظور تامین آبگرم مصرفی، گرمایش و سرمایش فضاها در دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

انرژی خورشیدی را می توان به سه روش فنی بدست آورد و آنرا به کار گرفت.

۱- شیمی خورشیدی (Chemical Heilo)

تولید غذا و تبدیل CO_2 به O_2 از طریق فتوسنتز در روی زمین که عامل بقاء زندگی است.

۲- الکتریکی خورشیدی (Helicelectrical)

تولید الکتریسیته به کمک کلکتورهای خورشیدی در سفینه های فضایی مخصوصاً قمرهای مخابراتی و کاربردهای

دیگری روی زمین

۳- حرارتی خورشیدی (Heliothemal) :

تولید انرژی حرارتی، تامین آب گرم مصرفی و غیره

آبگرمکن های خورشیدی هزینه های تولید آبگرم را ۶۰ درصد کاهش می دهد. این مقدار در کل عمر سیستم معادل میلیون ها ریال خواهد بود. همچنین سیستم های آبگرمکن خورشیدی می توانند در حفظ منابع طبیعی و محیط زیست به ما کمک کنند.

نحوه کارکرد آبگرمکن خورشیدی بدین صورت است که سیستم های خورشیدی در روز های آفتابی از انرژی خورشید برای گرم کردن آبی که از داخل لوله ها عبور می کند، استفاده می کنند. در سیستم گرمایشی مستقیم، آب در حین عبور از صفحات و شیشه ای که در سقف خانه قرار دارند گرم می شوند. سپس آب گرم شده در یک مخزن ذخیره عایق شده که معمولاً به صورت تاقی در بالای صفحات قرارداد ذخیره می شود. یک سیستم گرمکن کمکی هم در سیستم قرار داده شده تا دمای آب را در روزهایی که ممکن است انرژی خورشیدی برای تأمین آب گرم کافی نباشد بالا ببرد. سیستم گرمکن معمولاً از برق در ساعات غیر پیک، گاز (طبیعی یا مایع) یا سوخت جامد استفاده می کند. سیستم های غیر مستقیم از یک مبدل حرارتی استفاده می کنند و برای مناطقی که مستعد یخ زدن هستند توصیه می شوند. در حال حاضر خرید سیستم خورشیدی در ایران مقرون به صرفه است چرا که دولت بخش زیادی از هزینه های آن را در مناطق خاصی تقبل کرده است.

اگر امکان یخ زدن آب وجود داشته باشد، آب با مقداری ضد یخ (اتیلن گلیکول) مخلوط شده و در کلکتورها جریان می یابد و حرارت جذب شده از خورشید بر آب داخل تانک ذخیره منتقل می شود. در اکثر مناطق استفاده از سیستمی که از ضد یخ استفاده می کند منطقی تر است. حالت دیگری که برای حفاظت از یخ زدگی می توان بکار گرفت استفاده از چند مبدل حرارتی یا شیرهای حفاظت از یخ زدگی است که این شیرها نسبت به استفاده از مبدل حرارتی از درجه اطمینان پایین تر برخوردار هستند. همچنین برای استفاده از این نوع سیستم مخزن ذخیره معمولاً از فولاد ضد زنگ یا فولاد ساده که با یک لایه لعاب پوشش داده شده ساخته می شود و اندازه یک آبگرمکن خورشیدی به نسبت هر ۱ تا ۳ نفر باید ۱۰۰ تا ۱۵۰ لیتر ظرفیت داشته باشد و برای ۴ تا ۶ نفر باید ۱۵۰ تا ۳۰۰ لیتر ظرفیت داشته باشد استفاده از آبگرمکن خورشیدی سرمایه گذاری منطقی است. از دیدگاه حفظ محیط زیست

و کاهش انتشار گازهای گلخانه ایی ، سرمایه گذاری بسیار خوبی است . همچنین برای این سرمایه گذاری باید به موقعیت جغرافیایی ، میزان استفاده از آب گرم ، عملکرد سیستم ، نوع و قیمت سیستم و در آخر نوع سیستم گرمکن کمکی مورد استفاده توجه داشته باشیم. با صرف اندک هزینه ای بیش از قیمت سیستم های متداول ، یک سیستم خورشیدی برای یک خانواده ۵ نفری و با قیمت فعلی سوخت پس از حدود ۲/۵ سال هزینه سرمایه گذاری اولیه را جبران می کند . با در نظر داشتن این که طول عمر این سیستم ها از انواع دیگر بیشتر است اثرات هزینه آن ها تعدیل می شود . در مناطقی با سطوح بالاتری از تابش خورشید و یا استفاده از منابع سوختی گران تر (مثلاً گاز مایع) دوره بازگشت سرمایه کوتاه تر خواهد بود .

بر طبق گزارش آژانس بین المللی انرژی ۵/۱۳۲ میلیون متر مربع کلکتور گرمایش خورشیدی در کشورهای عضو آژانس نصب شده است که البته این رقم نسبت به سال ۲۰۰۱ در حدود ۱۳۰٪ افزایش داشته است . در ایران سازمان بهینه سازی سوخت کشور در شهرها و روستاهایی که دارای شرایط اقلیمی مناسب برای نصب هستند پروژه هایی را انجام داده و طرح استفاده از آبگرمکن خورشیدی خانگی و آبگرمکن خورشیدی عمومی (حمام خورشیدی) را در دست اقدام دارد .

فصل اول

انواع آبگرم کن های خورشیدی

آبگرمکن های خورشیدی را می توان از نظر نوع کارکرد به دو دسته عمده تقسیم بندی نمود :

الف) آبگرمکن های ترموسیفونی (سیستم با گردش طبیعی)

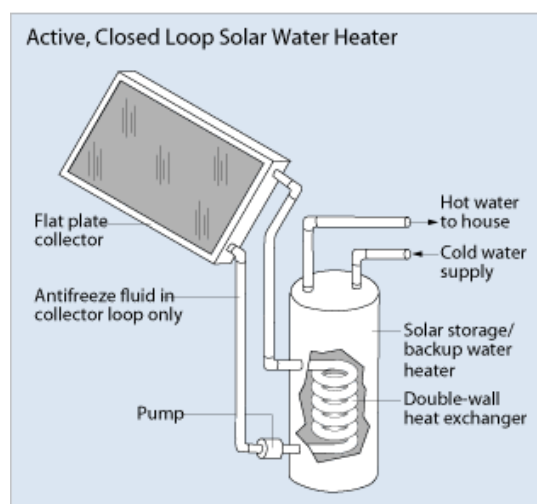
در اثر تابش نور خورشید به صفحات جاذب کلکتورها و جذب انرژی گرمایی توسط این صفحات سیال موجود در کلکتورها در اثر خاصیت رسانایی گرم شده در اثر اختلاف چگالی که ناشی از اختلاف دمای سیال گرم و سرد می باشد خاصیت ترموسیفون بوجود آمده و بنا به این خاصیت سیال گرم به بالا حرکت کرده و به منبع ذخیره وارد می گردد در این قسمت اگر سیستم Direct (مستقیم) باشد در این صورت سیال گرم شده همان آب مصرفی می باشد که مورد مصرف قرار خواهد گرفت و چنانچه In direct (شامل مخزن دو جداره باشد) سیال گرم شده محلول آب و ضد یخ است که در جداره بیرونی مخزن را گرم و سپس به کلکتور باز می گردد . شمای کلی این سیستم در ذیل نمایش داده شده است :

ب) آبگرمکن های پمپی (سیستم با گردش آبیاری یا مدار باز)

در این دسته از آبگرمکن های خورشیدی که معمولاً بصورت غیر مستقیم (با تعداد کلکتور بالا و مخزن دو جداره) می باشد جهت انجام بهتر عمل سیرکولاسیون از یک پمپ استفاده می شود این آبگرمکن ها معمولاً جهت سیستم های بزرگ به کار می رود همچنین در سیستم های خانگی نیز کاربرد دارد در این حالت مخزن ذخیره در هر محلی از ساختمان و نسب به کلکتورها می تواند قرار بگیرد . پمپ را در مسیر ورود محلول سرد به کلکتورها قرار می دهند این محلول پس از گرم شدن توسط صفحات جاذب کلکتورها برگشت می کند . این نوع از سیستم های خورشیدی به دلیل افزودن یک پمپ سیرکولاسیون به مدار گردش سیال به میزان قابل توجهی راندمان و توان خروجی را بهبود می بخشد . در این نوع سیستم منبع ذخیره جدا از کلکتورها و در نزدیکترین مکان به محل مصرف نصب می گردد .

همچنین این سیستم مجهز به یک کنترل دما می باشد که این کنترلر در مواقع نیاز به پمپ دستور قطع و وصل می دهد . به این ترتیب که این کنترلر دما اختلاف دمای (ΔT) بین خروجی کلکتور و ورودی به مخزن را اندازه

می گیرد و پس از مقایسه با (ΔT) تنظیم شده روی این کنترلر که می تواند بین ۱ تا ۱۰ درجه تنظیم گردد فرمان قطع یا وصل شدن عمل سیرکولاسیون (خاموش یا روشن کردن پمپ) در مدار را می دهد در ذیل شمای کلی این سیستم نمایش داده می شود .



شکل ۱ : شماتیک آبگرمکن خورشیدی

۱-۱ معرفی آبگرمکن های خانگی و عمومی

موارد مصرف آبگرمکن های ترموسیفونی و پمپی در سیستمهای خانگی و عمومی می باشد .

سیستمهای خانگی

در مواردی که آب گرم مصرفی جهت تأمین ۴-۷ نفر در روز باشد از سیستم های خانگی که ممکن است خاصیت ترموسیفونی یا پمپی را شامل گردد استفاده می شود.

آبگرمکن های خورشیدی خانگی از نظر کارکرد به دو دسته ترموسیفونی و پمپی تقسیم می شوند.

آبگرمکن های خانگی ترموسیفونی

(A) با مخزن افقی : ساختار و عملکرد این دسته از آبگرمکن های خورشیدی نسبتاً ساده می باشد هر آبگرمکن از یک مخزن و تعدادی کلکتور تشکیل شده که عملکرد آن بستگی زیادی به شرایط زمانی و مکانی (منطقه جغرافیایی خواهد داشت . صفحات جاذب کلکتورها انرژی تابشی خورشید را جذب و به گرما تبدیل می کند .

معمولاً تعدادی لوله به این صفحات متصل می شود که با عبور سیال از درون این لوله ها باعث گرم شدن آن می شود سیال گرم در مخزن ذخیره می شود چنانچه سیستم (indirect) باشد (متشکل از منبع ذخیره دو جداره) سیال گرم (محلول آب و ضد یخ) وارد جداره خارجی شده و آب مصرفی جداره داخل را گرم می کند . برای افزایش کارایی آبگرمکن ها ، صفحات جاذب را درون فریمی قرار می دهند و بخش زیرین آن را با عایق مناسب می پوشانند تا تلفات حرارتی آن کاهش یابد .

همچنین برای پیشگیری از تفاوت حرارتی در سطح فوقانی صفحات جاذب ، سطح رویه فریم را معمولاً با یک یا دو لایه شیشه (یا مواد شفاف مشاه) می پوشانند خواص تابشی صفحات جاذب در عملکرد آبگرمکن خورشیدی اثر زیادی دارد برای کارکرد بهتر لازم است صفحات جاذب دارای ضریب جذب بالایی بوده و بر عکس برای اینکه تلفات حرارتی آن کم باشد باید ضریب صدور پائینی داشته باشد به صفحاتی که دارای این ویژگی باشند صفحات منتخ (selective surface) می گویند .

تانک (مخزن) : جداره داخلی تانک از ورق گالوانیزه با ضخامت ۳ میلیمتر و پوسته بیرونی آن از ورق گالوانیزه به ضخامت ۲-۳ میلیمتر ساخته شده است .

همچنین روکش آن از ورق فولادی با ضخامت ۰/۸-۰/۹ میلیمتر همراه با پوشش رنگ الکترواستاتیک می باشد . عایق بندی تانک با فوم تزریقی انجام شده و ظرفیت آن بسته به میزان مصرف (سفارش خرید) هر اندازه میتواند باشد همچنین این مخزن می تواند دارای یک سیستم کمکی (المنت برقی ۱۲۰۰-۲۰۰۰ وات) جهت گرم کردن آب در روزهای ابری می باشد .

B) ترموسیفون مستقیم (Direct) با سیستم لوله حرارتی : استفاده از این سیستم در جاهایی که دمای زیر صفر دارد توصیه نمی شود چرا که سیال گردش داخل کلکتور همان آب مصرفی است و ممکن است در اثر پایین آمدن دما در فصول سرد این آب یخ بزند و سبب ترکیدگی لوله های کلکتور گردد . مخزن سیستم تحت فشار آب شهری نیست و به همین دلیل فشار آب گرم خروجی تابع ارتفاع تانک می باشد .

سیال عامل : آب با پروپیلین گلیکول (ضد یخ)

کلکتور :

نوع : کلکتور مسطح (تخت)

مساحت کلکتور : ۲ متر مربع (۲ × ۱ متر)

مساحت صفحه جاذب : حدود ۱/۶ متر مربع

جنس صفحه شفاف : شیشه کم آهن (فلوت)

تعداد صفحات شفاف : ۱ عدد

ضخامت صفحه شفاف : ۴ میلیمتر

جنس لوله های رایزر : مس یا آلومینیوم

تعداد لوله های رایزر : ۱۴ میلیمتر

ضریب اتلاف گرمایی کلکتور : $8 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{w/m}^2$

راندمان کلکتور :

مدل مسی : ۴۲٪

مدل آلومینیوم اکسترود شده : ۴۳٪

مدل آلومینیومی : ۴۶٪

عایق کلکتور :

جنس عایق : پشم و شیشه با روکش آلومینیوم

ضخامت عایق : ۲ اینچ

قاب کلکتور :

جنس : آلومینیوم اکسترود شده BS6063

رنگ : آندایز نقره ای

فریم : دو جداره جهت کاهش اتلاف انرژی

ورق زیر فریم : فولاد گالوانیزه با ضخامت ۰/۶ میلیمتر

قاب شیشه ای : آلومینیوم اکستروود شده BS6063

رنگ قاب : آندایز نقره ای

لاستیک شیشه :

جنس : لاستیک تسمه ای اسفنجی مقاوم در برابر شعله U.V

ابعاد : ۲۰×۵ میلیمتر

B-113 (مدل مسی - آلومینیومی - سوئدی) :

جنس صفحه جاذب : آلومینیوم پرس شده

جنس لوله ها و رایزرها : مس

ضخامت : ۰/۶ میلیمتر



شکل ۲ : قاب کلکتور

مدل لوله آلومینیومی

جنس صفحه جاذب : آلومینیوم اکستروود شده

رنگ : آندایز مشکی

ضخامت : ۱/۳ میلیمتر

آبگرمکن های خانگی پمپی

این سیستم از یک مخزن ، دو کلکتور و یک پمپ تشکیل یافته است توضیح مربوط به کلکتورهای مخزن این سیستم دقیقاً مشابه توضیحات ذکر شده سیستم ترموسیفونی می باشد که با این تفاوت مخزن این سیستم در هر جایی از ساختمان می تواند قرار بگیرد در اینصورت آنرا جدا از کلکتور و در نزدیکترین مکان به محل مصرف قرار می دهند از این نوع سیستم به عنوان سیستم کمکی یا پیش گرمکن نیز می توان بهره گرفت افزودن این پمپ سیرکولاسیون به مدار سبب افزایش رانندکان و توان خروجی محصول می گردد .

آبگرمکن های خورشیدی عمومی (سیستم گردش اجباری)

این دسته از آبگرمکن های خورشیدی لزوماً به صورت غیر مستقیم (In Direct) و با مخزن کویل دار می باشد و استفاده از پمپ جهت گردش محلول آب و ضد یخ الزامی می باشد در این سیستم از تعداد زیادی کلکتور (تعداد آن بستگی به میزان مصرف یا تعداد نفرات استفاده کننده از آن دارد) به صورت سری و موازی استفاده می گردد که نمای شماتیک آن نمایشی داده شده است این سیستم برای گرمایش آب مصرفی مورد نیاز در حمامهای استخرها و صنایع گوناگون بکار می رود .

مشخصات و اجزای تشکیل دهنده سیستم های عمومی :

اجزای تشکیل دهنده آبگرمکن های خورشیدی عمومی عبارتند از :

۱. کلکتور در تعداد مشخص بر اساس میزان مصرف آبگرم روزانه

۲. مخازن کویل دار جهت ذخیره آبگرم در حجم زیاد
۳. پمپ های سیرکولاسیون : جهت گردش سیال داخل کلکتورها و تبدیل حرارتی با تانک
۴. منبع های انبساط : جهت تعادل سیال
۵. تأسیسات مربوطه : جهت تبادل و انتقال حرارت

جدول ۱: مشخصات فنی کلکتور آبگرمکن خورشیدی

9/5*94*200	ابعاد CM	۱.
1/51	m ² مساحت جذب	۲.
38/5	وزن Kg	۳.
150	Psi فشار تست	۴.
AL6063 (اکستروود شده)	فریم	۵.
پشم شیشه با دانستیتته 12	Kg/m ² نوع عایق	۶.
Float (فلوت با ضخامت ۴)	mm شیشه	۷.
از نوع مس با ضخامت 22φ 0.9	mm لوله هدر	۸.
از نوع مس با ضخامت 10φ 0.9	لوله رایز اتصال دهنده هدر به صفحه جاذب	۹.
Thermal emission : /solar absorption : 96% ± 2/strip width w : 143 mm Surface coating method : vacuum Magnetron sputtering	نوع صفحات جاذب (ساخت کشور سوئد)	۱۰.

۱-۲ سیستم گرمایش خورشیدی تهیه آبگرم بهداشتی

یک سیستم مدار باز با گردش وا داشته سیال سیستمی است که در آن آب بهداشتی مستقیماً در نتیجه گردش در گردآورنده به وسیله پمپ گرم می شود .

یکی از عوامل مهم برای کار خوب این سیستم حفظ نمودن لایه های گرمایی در مخزن می باشد به همین علت است که مولد انرژی کمکی را معمولاً در قسمت فوقانی مخزن قرار می دهند .

یکی از سیستم های خورشیدی تهیه آب گرم نوع بسته می باشد که نوع گرد آورنده خورشیدی مورد استفاده تهیه آب گرم می تواند اثر قابل توجهی بر روی کارایی سیستم و قیمت آن داشته باشد .

در یک آبگرمکن که از دو جداره ساخته شده و آب مبدل گرمایی استفاده می شود که از نظر تجارتي و صنعتی متداولتر است ضریب انتقال گرما در بین دو جداره بر اساس $Nu=0.5$ که برای جریان آرام بین دو جداره است محاسبه می شود .

جریانی جرمی لایه مرزی جابجایی آزاد دمای آمیختگی و ضرایب انتقال گرما در بین دو جدار مخزن را می توان از روابط زیر بدست آورد .

$$m = \frac{Cu\delta p}{12}$$

که در آن C پیرامون است

$$U = 5.17 \left(Pr \times \frac{20}{12} \right)^{1/2} \left(\frac{g\beta\theta w}{v^2} \right)^{1/2} x^{1/2}$$

$$\delta = 3.93 Pr^{-1/2} \left(Pr + \frac{20}{12} \right)^{1/2} \left(\frac{g\beta\theta w}{v^2} \right)^{1/4} x^{1/4}$$

$$Nu_x = 0.51 Pr^{-1/2} \left(Pr + \frac{20}{12} \right) Gr_x^{1/4}$$

مقادیر بدست آمده ضرایب کل انتقال گرما از بین دو جدار به مخزن در محدود ۷۹ تا $103 \frac{w}{m^2 c}$ می باشد اتلاف

انرژی از مخزن ذخیره آب گرم به محیط اطراف حتی زمانی که به خوبی عایق شده باشد می تواند درصد قابل توجهی از انرژی مورد نیاز سالانه برای گرم کردن آب را تشکیل بدهد .

کارایی گرمایی کلی سیستم تهیه آب گرم خواه سیستم مدار باز و خواه سیستم مدار بسته باشد تحت تأثیر برخی از پارامترهای اساسی طراحی می باشد مهمترین این پارامتر در رابطه با دو مورد زیر است :

۱ - آب قبل از گرم شدن به وسیله واحد کمکی تا دمای مورد نظر به وسیله انرژی خورشید از پیش گرم می گردد .
 ۲- گرمای خورشیدی مستقیماً به آب که به وسیله واحد کمکی در دمای مورد نظر نگهداری می شود اضافه می گردد .

این موارد اشاره به وجود یا عدم وجود پیش گرمکن در سیستم است .

مزیت بالقوه سیستم های محتوی پیش گرمکن آن است که می توان انرژی خورشیدی را تحت دمای متوسط کاری پایین تر گردآورنده و بازدهی طول المدت بالاتر گردآوری نمود بنابراین در صورت تساوی کلیه پارامترها با استفاده و نصب از دو مخزن دارای پیش گرمکن می توان انرژی خورشیدی بیشتری جمع آوری کرد تا از یک مخزن که در آن انرژی کمکی تمام مخزن ذخیره را در یک حداقل دمای مورد نظر از پیش تعیین شده حفظ می کند .

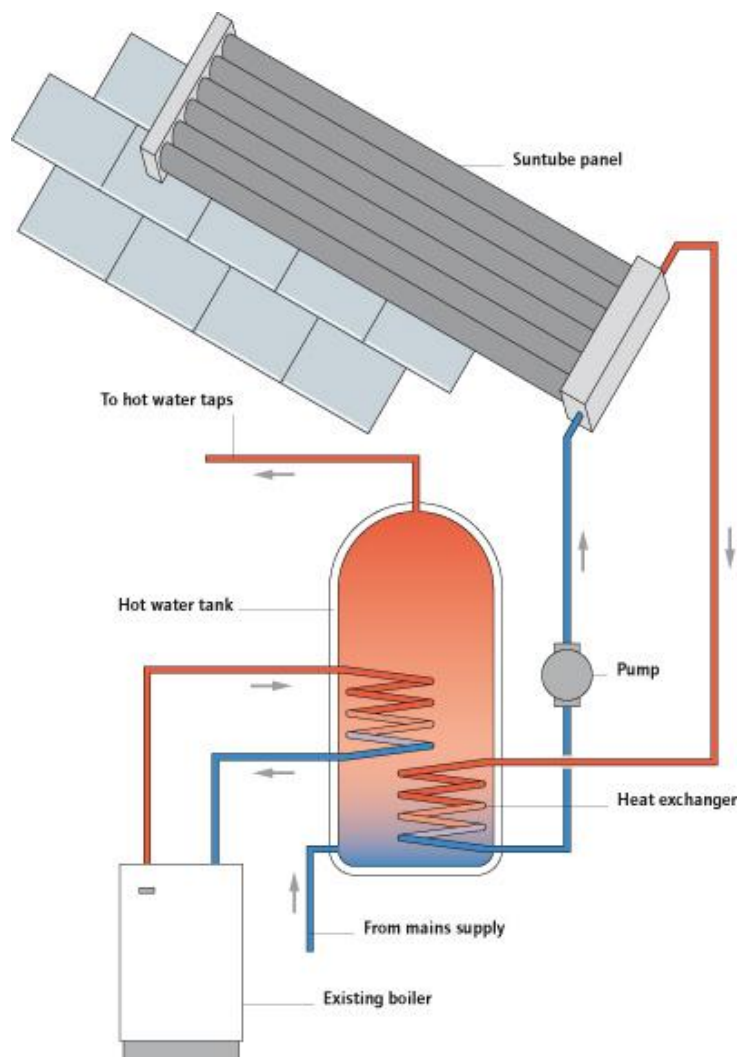
بررسی های مختلف نشان داده که انرژی تحویلی در یک سیستم پیش گرمکن دو مخزنی تقریباً در برابر یک سیستم بدون کیفیت پیش گرمکن است .

و از طرفی پیش گرمکن دو مخزنی تقریباً حدود ۱۰٪ بازدهی گرمایی دارد نسبت به یک مخزن سیستم دو مخزن اگر چه اندوخته آبگرم بیشتری دارد تا در مواجه شدن برای موقعیتهای حداکثر بار مفید باشد برای ساختمانهای جدید نصب مشکل است .

علت اختلاف کم کارایی گرمایی بین سیستم های پیش گرمکن یک مخزن و دو مخزنی به علت اتلافهای گرمایی از مخزن ذخیره در سیستم دو مخزنی می باشد تقریباً در طول شش ماه از سال که احتیاج به گرم کردن فضا نمی باشد اتلاف های مخزن ذخیره در سیستم دو مخزنی انرژی خورشیدی گرد آوری بیشتر توسط این سیستم جبران می کند در مناطق گرمسیری بهتر است از یک مخزن استفاده شود .

آبگرم در تمام طول سال و صرف نظر از شرایط محیط خارج مورد نیاز می باشد . تولید آبگرم مصرفی از اقتصادی ترین طرق استفاده از انرژی خورشیدی است . انرژی خورشیدی را می توان مستقیماً برای تولید آب گرم مصرفی

بکار گرفت . سیستم ساده این نوع آبگرمکن ها از گرد آور خورشیدی و مخزن ذخیره که سیال عامل در آن به کمک اختلاف درجه حرارت بطور طبیعی بر اساس اصل ترموسیفون گردش می کند تشکیل شده است. آب داخل گردآور توسط تشعشع خورشید گرم و به سوی قسمت بالا مخزن ذخیره حرکت می کند و آب سرد قسمت تحتانی مخزن ذخیره جانشین آب گرم در گردآور می شود . برای حفظ جریان ترموسیفون و جلوگیری از جریان معکوس که موجب افت حرارت می شود باید قسمت فوقانی گرد آور پایین تر از قسمت تحتانی مخزن ذخیره قرار گیرد . بعلاوه حداقل ده درجه انحراف نسبت به سطح افق برای تحقق جریان ترموسیفون در سیستم آبگرمکن ضروری است .



شکل ۳ : سیستم گرمایش خورشیدی تهیه آبگرم بهداشتی

قسمتهای اصلی یک آبگرمکن خورشیدی

اجزاء اصلی تشکیل دهنده آبگرمکن خورشیدی عبارتند از:

الف) گردآور

ب) مخزن ذخیره

الف - گردآور

همانطور که قبلاً ملاحظه شد سه محل اصلی برای قرار دادن گردآور ها وجود دارد ، محل گردآور را در رابطه با بقیه اجزاء آبگرمکن خورشیدی نشان می دهد .

۱. لوله انبساط آبگرم

۲. مخزن ذخیره

۳. جایگاه مخزن ذخیره

۴. خروجی آبگرم از گردآور

۵. لوله های سیرکولاسیون از دیگ

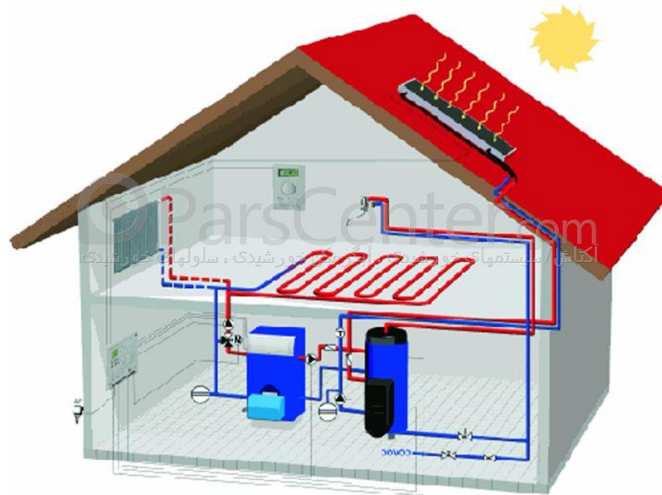
۶. دیگ آبگرم

محل قرار گیری گردآور ها بر روی پشت بام:

۱. مخزن ذخیره

۲. گردآور

۳. لوله خروج آبگرم



شکل ۴: قرار گیری گردآور بر روی پشت بام

محل قرارگیری گردآور ها بر روی سایه بان پنجره:

۱. شیر توپی
۲. سینی ضد زنگ
۳. لوله انبساط آبگرم
۴. لوله تغذیه آب سرد
۵. محل خروج آبگرم
۶. ترموستات
۷. گرمکن الکتریکی
۸. بوش تخلیه مخزن
۹. فاصله بین ته مخزن و قسمت فوقانی گردآور که می بایست بیش از ۱۵ سانتیمتر باشد .
۱۰. زاویه انحراف گردآور معادل عرض جغرافیایی محل

محل قرار گیری گردآور ها در روی زمین

محل گردآور ها باید طوری انتخاب شود که در طول روز بالاترین انرژی را دریافت کند ، انحراف گردآور ها نسبت به سطوح افق باید اپتیمم باشد ، یعنی تقریباً با زاویه انحرافی معادل عرض جغرافیایی محل نسبت به سطح افق قرار گیرد .

مثلاً برای تهران گردآور ها حدود $35/5$ درجه نسبت به سطح افق زاویه خواهند داشت . نظر به اینکه نصب گردآور ها قسمتی از مخارج سیستم را تشکیل داده در صورتی که سقف نسبت به سطح افقی دارای شیب باشد ، گردآور ها مستقیماً روی سقف قرار داده می شوند . این فرم قرار گیری هم بر استحکام و هم بر زیبایی نصب گردآور ها می افزاید . برای سقف های افقی یک چهار چوب شیب دار جهت نصب گردآور ها ضروری است .



شکل ۵: قرار گیری گردآور ها در روی زمین

ب - مخزن ذخیره آبگرم

به کمک مخزن ذخیره آبگرم ، انرژی حرارتی را برای مصرف دلخواه جمع آوری می کنیم ، مقطع یک تانک ذخیره را نشان می دهد . تانک ذخیره معمولاً برای نگهداری $1/5$ تا ۲ روز ذخیره آبگرم طراحی می شود آبگرم حمام و دوش معمولاً آب با درجه حرارت بین 37 تا 43 درجه سانتیگراد لازم است .

برای شستشوی لباسها نیز بعلت وجود مواد پاک کننده آب ۶۰ درجه سانتیگراد مناسب است . لذا ترموستات فرمانده دهنده به سیستم کمکی در روی تانک ذخیره را معمولاً می توان بر اساس فوق و مطابق دلخواه تنظیم نمود.



شکل ۶ : مخزن ذخیره آبگرم

مخزن ذخیره را می توان برای سیر کولاسیون به روش ترموسیفون و یا سیرکولاسیون اجباری بطور افقی یا قائم نصب کرد.

ظرفیت سیستم آبگرم

عوامل اصلی در انتخاب ظرفیت سیستم آب گرمکن خورشیدی به قرار زیر است :

الف- مقدار مصرف روزانه آب گرم :

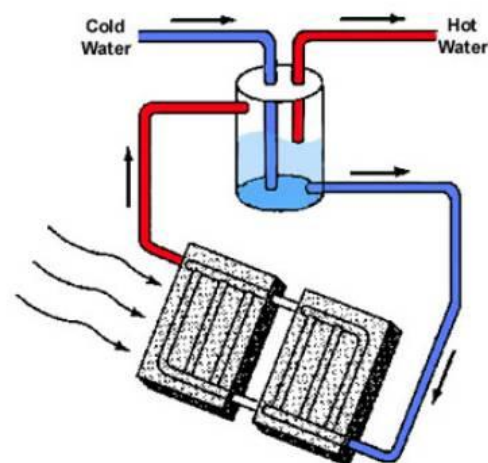
به طور متوسط مصرف آب گرم برای هر نفر در ایران در ساختمانهای مسکونی روزانه حدود ۵۰ لیتر می باشد .

ب - درجه حرارت آب سرد ورودی :

معمولاً در صورتی که درجه حرارت آب سرد ورودی معلوم نباشد می توان آن را معادل ۱۰ درجه سانتیگراد فرض کرد.

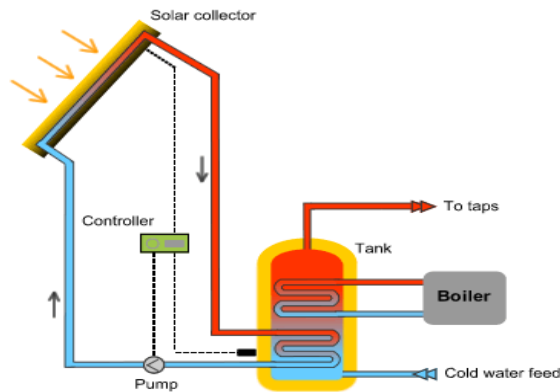
اجزاء تشکیل دهنده :

- | | |
|----------------------------------|----------------------|
| ۱. لوله ورود آب سرد | ۷. صفحه پوشش |
| ۲. مخزن ذخیره | ۸. پیچ تخلیه گردآور |
| ۳. لوله خروج آب گرم | ۹. جذب کننده خورشیدی |
| ۴. اتصالات رفت و برگشت به گردآور | ۱۰. نبشی اتصال |
| ۵. مهره ماسوره اتصال | |
| ۶. طبقات اتصال | |



شکل ۷: آبگرمکن خورشیدی با مخزن افقی و سیرکولاسیون طبیعی

این سیستم با مجهز به یک شیر فشار شکن نیز باشد. در شکل زیر یک آبگرمکن خورشیدی با مخزن قائم و پمپ (سیرکولاسیون اجباری) دیده می شود.



شکل ۸: یک نمونه آبگرمکن خورشیدی با مخزن عمودی و پمپ سیرکولاسیون

اجزا تکیل دهنده :

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| ۱- گردآور | ۱۳- شیر یکطرفه |
| ۲- مجموعه خروجی و شیر هواگیری | ۱۴- نبشی |
| ۳- شیر هواگیری | ۱۵- پمپ سیرکولاسیون |
| ۴- لوله اتصال | ۱۶- خروجی پمپ |
| ۵- تبدیل | ۱۷- زانوی مسی |
| ۶- ترموکوپل | ۱۸- ورودی پمپ |
| ۷- در پوش | ۱۹- لوله اتصال |
| ۸- خط رفت مایع به گردآور | ۲۰- اتصال ترموکوپل |
| ۹- خط برگشت مایع از گردآور | ۲۱- اتصال ترموکوپل |
| ۱۰- رفت آب گرم مصرفی | ۲۲- ورودی آب سرد به مخزن |
| ۱۱- شیر فشار شکن | ۲۳- آب سرد به پمپ سیرکولاسیون |
| ۱۲- سیم اتصال ترموکوپل | |

۱-۳) طریقه محاسبه بهره حرارتی سیستم خورشیدی گرمایش و آبگرم مصرفی

بازدهی هر سیستم خورشیدی مستقیماً به مقدار تشعشع موجود شرایط محیط خارج مشخصات بار حرارتی و مشخصات سیستم خورشیدی بستگی دارد. پیش بینی دقیق بهره سیستم های خورشیدی به علت تغییر آب و هوا و روابط پیچیده بین متغیرهای سیستم کار دشواری است یکی از طرق تخمین بهره سیستم گرمایش و آبگرمکن که از سیال مایع در آنها استفاده می شود روشی به نام روش دیاگرام (f) است.

قابل اجراء است مبنای محاسبات دیاگرام f در نمودار نشان داده شده است حرف (f) نماینده بهره سیستم خورشیدی است نشان دهنده درصدهای حرارتی ماهیانه ایست که توسط سیستم خورشیدی مربوطه قابل تأمین است.

محورهای مختصات نمودار (f) بر حسب $\frac{AS}{L}$ و $\frac{A(100-t_0)}{L}$ می باشد که A- مساحت سطح گردآورنده S- متوسط ماهیانه تشعشع خورشیدی عمود بر سطح گردآور و L مقدار بار حرارتی لازم در یک ماه برای گرمایش و آبگرمکن بر حسب کیلو وات است و t_0 از روی جدول هواشناسایی بدست می آید.

۱-۴) مقدار گرمایش جهت آبگرم برای یک ساختمان

مقدار حرارت لازم برای آبگرم یک خانه برای هر ماه از رابطه زیر استفاده می شود:

$$Q_w = m \cdot c_p (T_s - T_m) \cdot N$$

که در این رابطه m وزن آب مصرفی روزانه برای هر ماه kg , c_p - گرمای ویژه آب

$$(kwh/kg^{\circ}C)(1.16u \times 10^3)$$

T_s - درجه حرارت آب مصرفی که معمولاً بین ۵۰ تا ۶۰ سانتیگراد است.

T_m - درجه حرارت آب سرد مصرفی که می توان بطور متوسط $10^{\circ}C$ در

نظر گرفت.

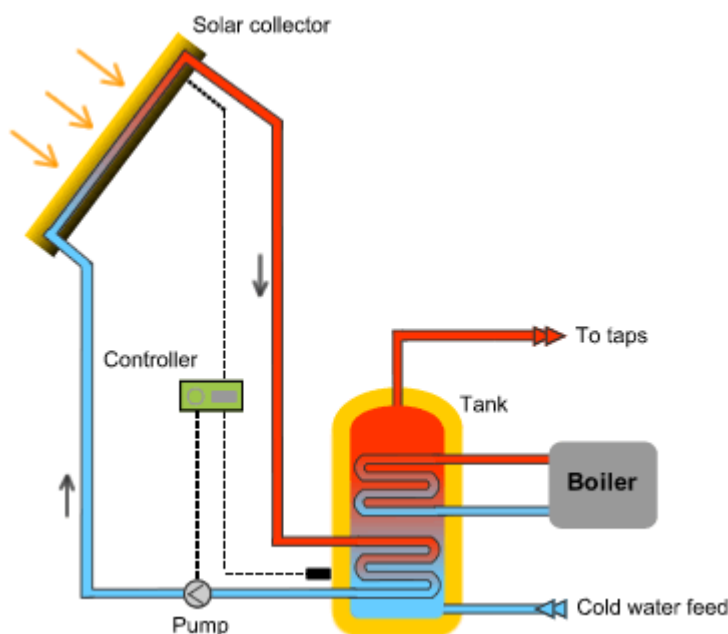
ملاحظات دیگر در طراحی

الف - سیر کولاسیون اجباری

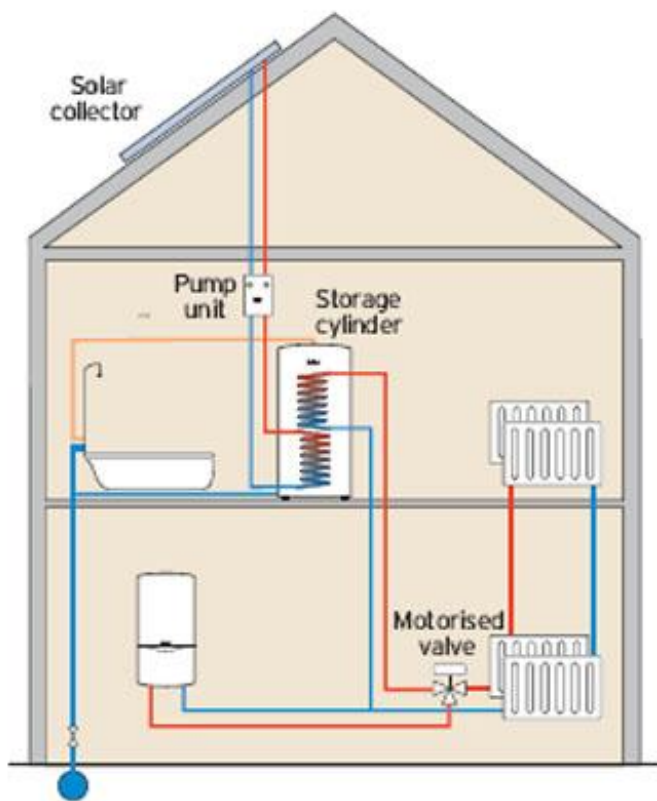
در اکثر آبگرمکن های خورشیدی خانگی می توان از سیستم ترموسیفون استفاده کرد ، اما در صورتی که به علتی نصب مخزن آبگرم در محلی بالاتر از گردآور ها عملی نباشد می توان از پمپ سیرکولاسیو استفاده کرد و در این حالت سیرکولاسیون را اجباری می نماییم در این حالت پمپ سیستم فرمان و وصل آن هزینه اضافی را موجب خواهند شد .

ب - یخ زدن

در مناطقی که احتمال یخ زدن آب داخل گردآور ها وجود دارد با استفاده از گردآور با دو لایه شیشه و عایق کردن لوله رفت و برگشت گردآور مشکل یخ زدن را کاهش داد و یا از سیال عاملی غیر از آب که دارای نقطه انجماد پایین باشد استفاده کرد .



شکل ۹ : شماتیک سیرکولاسیون اجباری



شکل ۱۰: شماتیک سیر کولاسیون طبیعی (ترموسیفونی)

فصل دوم

شناخت نوری جمع کننده ها

اساس کار یک پانل حرارتی خورشیدی تا حد زیادی به خواص نوری اجزای تشکیل دهنده آن بستگی دارد. این اجزاء در پیل های خورشیدی تحت عبارتند از: روپوش های شیشه ای و جذب کننده ها و در متمرکز کننده ها عبارتند از: آینه ها و عدسی ها.

عموماً خواص نوری مواد به طول موج تابش مورد نظر بستگی دارد. در این فصل، عملکرد نوری سیستم ها را در دو ناحیه مجزای طیف الکترو مغناطیسی بررسی خواهیم کرد، ناحیه طول موج کوتاه یا خورشیدی از طول موج های موجود در فاصله $0.2\mu\text{m} \leq \lambda \leq 2\mu\text{m}$ تشکیل می شود، ناحیه طول موج حرارتی شامل آن دسته از طول موجهایی است که در گستره $20\mu\text{m} \leq \lambda \leq 200\mu\text{m}$ قرار دارند، اکثر روپوش های خورشیدی که نسبت به انرژی خورشیدی تقریباً شفاف هستند، عملاً تابش حرارتی را از خود عبور نمی دهند، از سوی دیگر برخی از پوشش های جذب کننده که جذب کننده های بسیار خوبی برای تابش خورشیدی هستند، در واقع گسیل کننده های ضعیفی برای تابش حرارتی اند.

یک پانل حرارتی خورشیدی فقط هنگامی حرارت ایجاد می کند که انرژی خورشیدی واقعاً توسط صفحه جذب کننده سیاه شده، جذب شود، چون مقداری از انرژی تابشی توسط مجموعه روپوش منعکس و جذب می شود و به همین علت که بخشی از این انرژی توسط خود صفحه منعکس می شود حرارت واقعی تولید شده توسط پانل تا اندازه ای کمتر از تابش تابیده بر آن است، هر چند که روپوش ها از انرژی که به جذب کننده می رسد می کاهند اما به این دلیل که اتلاف حرارت به محیط را به طور قابل ملاحظه ای کم می کنند وجود آنها لازم است، خصوصاً در محیط های سرد، در یک گردآورنده کانونی کننده برای اینکه پرتوهای خورشیدی را بر روی یک سطح جذب کننده کوچک متمرکز کنند از یک آینه، یک عدسی یا ترکیبی از آنها استفاده می شود.

هر چند سطح مذکور کوچکتر باشد، تلفات حرارتی از آن سطح کمتر خواهد بود، در نتیجه در متمرکز کننده ها در مقایسه با پانلهای تخت دماهای ایجاد شده بیشتر و اتلاف حرارتی کمتر است.

در این فصل اصول شناخت نوری پانل های خورشیدی را بر روی یک سطح جذب کننده کوچک متمرکز کننده از

یک آینه ، یک عدسی یا ترکیبی از آنها استفاده می شود.

هر چه سطح مذکور کوچکتر باشد ، تلفات حرارتی از آن سطح کمتر خواهد بود ، در نتیجه در متمرکز کننده ها در مقایسه با پانلهای تخت دماهای ایجاد شده بیشتر و اتلاف حرارتی کمتر است.

در این فصل اصول شناخت نوری پانل های خورشیدی را مورد بحث قرار می دهیم . برای این کار ابتدا خواص نوری روپوش ها و جذب کننده های به کار رفته در پیل های تخت را تجزیه و تحلیل می کنیم .

۱-۲ بازتاب و شکست در سطح مشترک عایق های الکتریکی

هنگامی که تابش الکترومغناطیسی از یک محیط به محیط دیگر وارد شود ، بخشی از آن در سطح مشترک دو محیط منعکس می شود . برای مثال ، اگر پرتوی از نور از هوا به شیشه یا از شیشه به هوا وارد شود ، در سطح شیشه مقداری از نور به طرف محیطی که به آن وارد شده منعکس می شود ، از این رو ، حتی اگر روپوش خورشیدی هیچگونه تابش خورشیدی را جذب نکند ، مقداری انرژی در اثر بازتاب تلف می شود.

اکنون بجاست که عبور و قابلیت بازتاب کلی یک ورق روپوش را تعریف کنیم . این مفاهیم چنین تعریف می شوند :

$$T = \frac{F_{\text{از انتقال یافته}}}{F_{\text{تابیده شده}}} \quad (B-1-1) \qquad R = \frac{F_{\text{بازتاب شده}}}{F_{\text{تابیده شده}}} \quad (A-1-1)$$

در رابطه های فوق F تابیده شده ، شار تابیده بر روی روپوش و F انتقال یافته و F بازتاب شده به ترتیب به عنوان شارهای منتقل شده و باز تابیده هستند ، برای ساده کردن تحلیل ، فرض می کنیم شارهای عنوان شده در معادله فوق همگی پرتو گونه باشند ، هر چند بدست آوردیم برای مقاصد ما به حد کافی دقیقند ، عبور از روپوش به علت بازتاب در سطح روپوش و خاموشی کلی داخل روپوش کمتر از یک است .

ماده روپوش با دو پارامتر مشخص میشود : تضعیف کپه ای (نسبی) یا ضریب خاموشی K_{λ} و ضریب شکست n_{λ} ضریب شکست توسط رابطه زیر بدست می آید :

$$n_{\lambda} = \frac{c}{v} \quad (2-1)$$

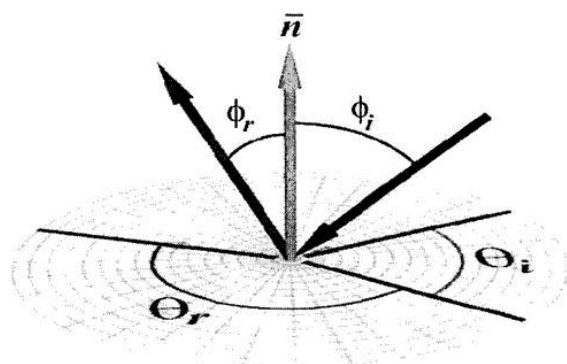
که C سرعت نور در خلاء و v سرعت نور در روپوش است. برای مقاصد عملی فرض می کنیم هوا مانند خلاء رفتار می کند. چون سرعت حرکت نور در شیشه کمتر از هواست، لزوماً مقدار n_{λ} بیشتر از یک است. در تمام مواد تا اندازه ای پراکندگی مشاهده می شود که به معنای آن است که n_{λ} تا حدی با طول موج تغییر می کند، بر همین اساس اجزای طیفی گوناگون را سرعت های مختلف در روپوش حرکت می کنند. در شیشه کراون معمولی ضریب شکست در طول موجهای ماورای بنفش زیاد است ولی در ناحیه مرئی و مجاور مادون قرمز طیف خورشیدی تقریباً به ۱.۵۱ تنزل می کند، برای ساده شدن تحلیل، مقادیر متوسط طیفی را به کار خواهیم برد و اندیسهای k ، n را حذف می کنیم. زاویه بین پرتو تابیده و خط عمود بر سطح مشترک را از زاویه تابش θ_i می نامند. صفحه ای که توسط پرتو تابیده و عمود مذکور مشخص می شود صفحه تابش (POI) و زاویه بین پرتوهای منعکس شده و خط عمود، زاویه بازتاب، θ نام دارد. طبق قانون بازتاب داریم:

$$\theta_i = \theta \quad (3-1) \text{ بازتاب}$$

پرتوهایی که به روپوش وارد می شوند پرتوهای شکسته نام دارند. زاویه بین پرتوهای شکسته و خط عمود، زاویه شکست نامیده می شود. جهت انتشار پرتوهای شکسته در روپوش توسط قانون شکست (که قانون اسنل نیز نامیده می شود) تعیین می شود.

$$n_i^2 \sin^2 \theta_i = n_r^2 \sin^2 \theta_r \quad (4-1) \text{ (قانون شکست)}$$

شوند. در حالتی که نور از هوا وارد شیشه می شود داریم: $n_r = n_g, n_i = 1$ هنگامی که پرتوها از هوا به شیشه وارد می شوند، زاویه آنها با خط عمود زیاد می شود. هنگامی که پرتویی از نور به یک ورق روپوش می تابد، در سطح بالایی و در سطح پایینی روپوش میشکند، بطوری که پرتوی خروجی و تابیده با هم موازیند.



نانون اسنل

شکل ۱ : بازتاب

قانون بازتاب و شکست به ترتیب جهت پرتوهای باز تابیده و شکسته را ارائه می کنند . مقدار شار باز تابیده و شکسته را ارائه می کنند . مقدار شار باز تابیده و منتقل شده از سطح مشترک شیشه - هوا به ضریب شکست روپوش n_g و زاویه تابش θ_i و حالت قطبی شدگی پرتو تابیده بستگی دارد . چون تابش الکترومغناطیسی یک موج عرضی است می توان آن را بر حسب قطبی شدگی آن مشخص کرد.

ارتعاش موج مذکور را می توان ، به دو مؤلفه تجزیه کرد : یک مؤلفه موازی صفحه تابش (POI) و یک مؤلفه عمود بر آن ن ضریب بازتاب در سطح مشترک یک ماده عایق الکتریکی در دو حالت قطبی شدگی ، توسط معادله های زیر (موسوم به معادله های فرسئل) به دست می آیند :

$$r_{II} = \left[\frac{n_r^2 \cos \theta_i - n_i \sqrt{n_r^2 - n_i^2 \sin^2 \theta_i}}{n_r^2 \cos \theta_i + n_i \sqrt{n_r^2 - n_i^2 \sin^2 \theta_i}} \right]^2 \quad (A-5-1)$$

$$r_I = \left[\frac{n_r \cos \theta_i \sqrt{n_r^2 - n_i^2 \sin^2 \theta_i}}{n_i \cos \theta_i + \sqrt{n_r^2 - n_i^2 \sin^2 \theta_i}} \right]^2 \quad (B-5-1)$$

اندیسهای I ، II به ترتیب به حالات قطبی شدگی موازی و عمود بر سطح تابش مربوط اند. این ضرایب صرفاً به بازتاب سطحی مربوط هستند . در همین صفحات نشان خواهیم داد که قابلیت بازتاب واقعی یک ورقه روپوش از محاسبه کل شار ناشی از بازتاب های چندگانه پی در پی سطوح بالایی و پایینی روپوش به دست می آید.

در حالت تابش عمود $(\theta_1 = 0)$ هیچ تفاوتی بین دو حالت قطبی شدگی وجود ندارد و می توان ثابت کرد که هر دو معادله فوق به صورت خلاصه زیر در می آیند .

تابش عمودی (6-1) $r_{II} = r_I = \left(\frac{n_r - n_i}{n_r + n_i} \right)$ اگر فرض کنیم که تابش مستقیم خورشیدی تقریباً غیر

قطبی باشد (یا بطور نامنظم قطبی شده باشد) بطوری که انرژی مربوط به هر دو حالت قطبی شدگی ۵۰ درصد انرژی رسیده باشد ، ضریب بازتاب متوسط در سطح مشترک را می توان برابر مقدار دانست :

$$\bar{r} = \frac{1}{2}(r_I + r_{II}) \quad (7-1)$$

در شکل منحنی های نمایش معادله های $(1-5)$ و $(1-7)$ برای شیشه $(n_g=1.5)$ ترسیم شده اند . از روی این شکل در می یابیم که در حالت تابش عمودی r کمترین مقدار را دارد و تقریباً ۰.۰۴ است . مقدار \bar{r} با دور شدن تابش از حالت عمودی پیوسته افزایش می یابد و تقریباً در زوایای بازتاب به یک (بازتاب کلی) نزدیک می شود . توجه کنید که در زاویه $\theta_i = 56$ و r_{II} از بین می رود و پرتو خورشیدی در جهت عمود بر صفحه تابش (POI) قطبی می شود . این زاویه را زاویه از زاویه قطبی شدگی یا زاویه فرستد برای شیشه می نامند . در مورد بیشتر روپوشهای خورشیدی ضریب بازتاب سطحی مقدار r برای زاویه های تابش کمتر از ۶۰ درجه، کمتر از ۱۰ درصد است . با افزایش این زاویه از ۶۰ به ۹۰ درجه مقدار آن بطور ملاحظه ای افزایش می یابد.

ضرایب انتقال در سطح مشترک را می توان به شکل $t_I = 1 - r_I$ ، $t_{II} = 1 - r_{II}$ نوشت . این پارامترها در صد شار رسیده به محیط شکست را تعیین می کنند.

ضریب شکست شیشه $n_g=1.5$ است. توجه کنید که در زاویه بروستر برای این شیشه هیچ نور قطبی شده ای به موازات صفحه تابش منعکس نمی شود.

خاموشی کلی: تابش که به روپوش وارد می شود در ورقه مذکور بطور مایل سیر می کند و با خط عمود بر سطح با زاویه θ_r شکل می دهد. این تابش عمده در اثر فرآیند خوب در درون روپوش تضعیف می شود. اگر ضخامت ورقه روپوش S می باشد، در این صورت کسری از شار که به سطح مشترک پایینی می رسد از رابطه زی بدست می آید:

$$\alpha = \exp(ks / \cos \theta_r) = \exp(nks / \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_r}) \quad (8-1)$$

در این n_0k به ترتیب ضریب خاموشی و ضریب شکست روپوش هستند. برای بدست آوردن معادله ۱-۸ از قانون اسنل که همان معادله ۱-۴ است استفاده کرده ایم. کمیت a عبارت است از قابلیت انتقال کلی روپوش برای عبور یک پرتو منفرد. خاموشی کلی پرتو اغلب ناشی از ناخالصیهای موجود در روپوش است، مقدار آن در حالت تابش عمودی کمترین حد است و با نزدیک شدن θ_i به 90° درجه افزایش می یابد. این اثر مشابه تضعیف توسط جو زمین است. ضریب خاموشی نوعی برای یک روپوش خورشیدی $k \cong 0/1\text{cm}^{-1}$ است.

مثال: قابلیت انتقال کلی یک روپوش به ضخامت 0.3cm را بیابید که ضریب خاموشی آن برای پرتوهای تابیده با زاویه 60° درجه $k=0.09\text{cm}^{-1}$ است. ضریب شکست روپوش مذکور $n=1.53$ است. با استفاده از معادله ۱-۴ زاویه شکست در داخل روپوش را بدست می آوریم:

$$\sin \theta_r = \frac{\sin 60^\circ}{1.53} = 0.566 \quad \text{یا} \quad \theta_r = 34^\circ$$

پس از جایگزین کردن این مقدار در معادله ۱-۸ در می یابیم که:

$$\alpha = \exp[-(0.09)(0.3) / \cos 34^\circ] = 0.97$$

در نتیجه، ۹۷ درصد شاری که از سطح بالایی می گذرد به سطح پایینی می رسد.

محاسبه شار منتقل شده خالص پس از عبور پرتو از یک ورقه جالب است . بخشی از پرتو تابیده شده از سطح مشترک بالایی عبور می کند و در اثر عبور روپوش تضعیف می شود ، بعد بخشی از آن از سطح مشترک پایینی خارج و پس از عبور از یک ورقه پایینی مجدداً ظاهر می شود . با بررسی دقیق معادله های ۱-۴ و ۵-۱ در می یابیم که ضرایب بازتاب و انتقال در سطوح بالایی و پایینی روپوش ها با هم برابرند به این ترتیب ، پس از یک بار عبور از ورقه ، کسر عبور کرده برابر است با :

$$\frac{F}{f} = T(0) = \tau \alpha t = \alpha t^2 = \alpha(1-r)^2$$

که t ، τ به ترتیب ضرایب انتقال و بازتاب سطحی و α قابلیت انتقالی کلی است . اندیس بالای T نشان می دهد که این رابطه فقط در مورد یک عبور صادق است. برای ساده تر شدن طرز نمایش ، شاخصهای I ، Π ، را از روی t حذف کرده ایم . می دانیم که در مقدار متمایز برای $T^{(0)}$ وجود دارد که هر یک از آنها مربوط به یکی از حالت های قطبی شدگی است.

۲-۲ عبور و قابلیت بازتاب کلی یک روپوش یک لایه

رابطه مربوط به عبور از یک لایه که قبلاً به دست آوردیم پدیده عبور کلی از یک روپوش را بدست نمی دهد زیرا در استخراج آن بازتاب های درونی متعدد در سطح های بالایی و پایینی روپوش در نظر گرفته نشده است . پرتو ظاهر شده را می توان مجموعه پرتوهای نامحدودی دانست که از بازتاب های درونی متعدد ناشی شده اند. برای ساده شدن تحلیل رفت و برگشت های کامل را پس از اولین عبور در نظر می گیریم . از این رو ، ضریب عبور برای اولین عبور (صفر مین رفت و برگشت) برابر $T^{(0)} = \tau \alpha t$ است . پس از یک رفت و برگشت کامل ، پرتو به نسبت $t \alpha r \tau \alpha t = t^2 \alpha (\alpha^2 r^2)$ تقلیل یافته است . پس از n برگشت و رفت خواهیم داشت :

$$T^{(0)} = t^2 \alpha (\alpha^2 r^2)^n$$

و کلی از روپوش عبارت از :

$$T = \sum_{n=0}^{\infty} T^{(n)} = t^2 \alpha \sum_{n=0}^{\infty} (\alpha^2 r^2)^n$$

و شکل کلی هندسی آن نا محدود فوق از رابطه زیر بدست می آید :

$$T = \frac{c}{1-\alpha} = \frac{\alpha(1-r)^2}{1-\alpha^2 r^2} \quad (9-1)$$

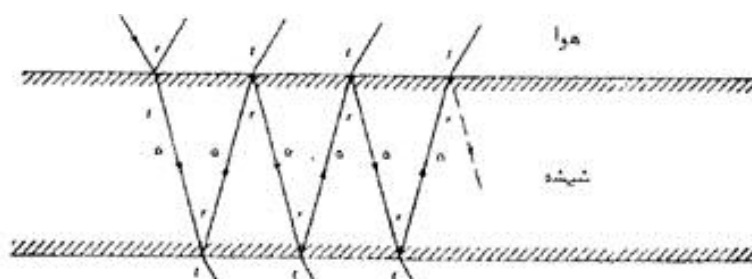
محاسبه به روش مشابه ثابت می شود که قابلیت بازتاب کلی عبارت است از :

$$R = r \left[\frac{1+\alpha^2 r^2}{1-\alpha^2 r^2} \right] = r \left[1 + \frac{\alpha^2 (1-r)^2}{1-\alpha^2 r^2} \right] \quad (10-1)$$

تعیین مقدار متوسط قابلیت عبور نور قطبی شده در مورد تابش خورشیدی ، با استفاده مقادیر T_I , T_{II} بدست می آیند ، مقادیر R , R_{II} , T_I , T_{II} را به طور جداگانه از معادله ای ۹-۱ و ۱۰-۱ به دست می آوریم . مقادیر عبور و ... بازتاب متوسط را برای روپوش با استفاده از روابط زیر بدست می آوریم :

$$T = \frac{1}{2}(T_I + T_{II}), \bar{R} = \frac{1}{2}(R_I + R_{II}) \quad (11-1)$$

نمودار ۱



نموداری که طی آن نشان داده شده چگونه تابش عبور کرده و تابش تابیده شده از یک

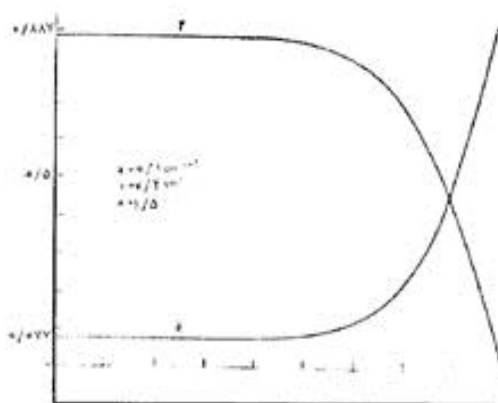
روپوش توسط بازتابهای متعدد در سطوح بالای و پایینی تحت تاثیر قرار می گیرند.

به آسانی می توان ثابت کرد که اگر تضعیف کلی وجود نداشته باشد (یعنی $a=1$) ، در این صورت $\bar{R} + \bar{T} = 1$ است در شکل ۶-۱ منحنی نمایش مقادیر R ، T بر حسب تابعی از θ_i ... یک روپوش نوعی ترسیم شده است اگر قابلیت عبور کلی روپوش یک لایه به عدد یک نزدیک باشد ، می توانیم در مخرج معادله از ۹-۱ مقداری $a=1$ قرار می دهیم . در نتیجه معادله ۱۱-۱ را پس از ساده کردن به صورت زیر در می آید :

$$\bar{T} \cong \alpha \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1-r_{II}}{1+r_{II}} \right) + \left(\frac{1+r_I}{1+r_I} \right) \right] \right\} (\alpha - 1) \quad (12-1)$$

توجه کنید که چون روپوش در حال جذب انرژی است ، داریم : $R + T \neq 1$ از معادله ۱۲-۱ در می یابیم ، که قابلیت عبور کلی روپوش یک لایه تقریباً برابر حاصلضرب در ضرایب خاموشی و بازتاب است .

نمودار ۲



تغییر قابلیت عبور عبور و قابلیت بازتاب کلی یک روپوش بر حسب زاویه تابش.

۳-۲ روپوش های چند لایه

در پانل های حرارتی خورشیدی برای کم کردن اتلاف حرارتی لازم است از روپوش چند لایه استفاده شود ، در حالی که روپوش دو لایه باشد برای تعیین قابلیت عبور کلی اثر بازتابهای متعدد بین دو روپوش باید با هم جمع شوند ، با استفاده از روش ریاضی مشابه با آنچه در مورد روپوش یک لایه به کار بردیم ، می توانیم بسادگی قابلیت عبور و قابلیت انتقال کلی روپوش دو لایه را که شامل دو روپوش مشابه است به دست آوریم . پس از قرار دادن R بجای r ، T بجای t و a در معادله های ۱-۹ و ۱-۱۰ نتیجه می گیریم که :

$$T_2 = \frac{T^2}{1-R^2}, R_2 = R(1 + \frac{T^2}{1-R^2}) \quad (13-1)$$

در این رابطه T, R و T_2 به ترتیب به روپوشهای یک لایه و دو لایه و دو لایه مربوطند.

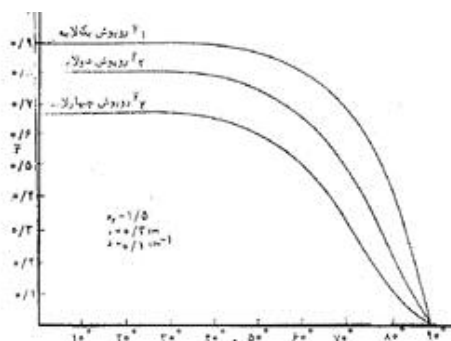
با به کار بردن معادله ۱-۱۳ برای هر یک از دو حالت قطبی شدگی ، روابط مربوط به مقادیر متوسط قطبی شدگی قابلیت بازتاب و عبور بصورت زیر بدست می آیند :

$$T_2 = \frac{1}{2}(T_{2,II} + T_{2,I}), R_2 = \frac{1}{2}(R_{2,II} + R_{2,I}) \quad (14-1)$$

معادله ۱-۱۳ را می توان با قرار دادن R_4 بجای R_2 و T_4 بجای T_2 و R بجای T به یک روپوش چهار لایه تعمیم داد. در شکل منحنی تغییرات عبور روپوش یک ، دو و چهار لایه ترمیم شده است . توجه کنید که در حالت تابش عمودی یا نزدیک آن ، که در آن قابلیت بازتاب روپوش یک لایه (R) کوچک است ، میزان عبور در معادله ۱-۱۳ عبارت است از $T_2 \approx T^2$ این معادله را می توان به $n1$ روپوش تعمیم داد :

$$T_n \approx T^2 \quad (15-1)$$

نمودار ۳



نمودار تغییرات قابلیت عبور کلی بر حسب زاویه تابش برای روپوشهای یک، دو و چهار

لایه، در هر یک از روپوشهای داریم $k=0/1\text{km}^{-1}$, $s=0/3\text{cm}$, $ng=1/5$.

اگر قابلیت عبور روپوش یک لایه $T=0/9$ باشد، نتیجه می شود $T^2 \cong 0/81$, $T^4 \cong 0/66$ بنابراین اگر تعداد لایه ها از دو بیشتر باشد ممکن است قابلیت عبور کلی به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

۲-۴ بازده نوری کلی یک سیستم روپوش دار جذب کننده

همانطور که قبلاً دیدیم، یک سیستم روپوش دار را می توان توسط قابلیت عبور و قابلیت بازتاب کلی که در اینجا آنها را به ترتیب با Tg , Rg نشان می دهیم مشخص کرد. یک پانل خورشیدی تخت نوعی، دارای یک صفحه جذب کننده است که زیر روپوش قرار دارد. شار خالص جذب شده توسط صفحه مذکور عبارت است از:

$$F = A_p F' \quad \text{تاییده جذب شده}$$

در این رابطه A_p قابلیت جذب صفحه و تابیده F' فشار تابیده بر روی صفحه است این شار شامل بازتابهای متعدد (شکل ۱-۸) بین روپوش و صفحه است و می توان آن را به شکل زیر نوشت:

$$F' = Tg \sum_{n=0}^{\infty} [(1 - A_p)Rg]^n F = \{Tg [1 - 10(1 - A_p)Rg]\}E$$

در اینجا تابیده شده F شار تابیده بر روی پانل است بنابراین بازده نوری پانل عبارت است از :

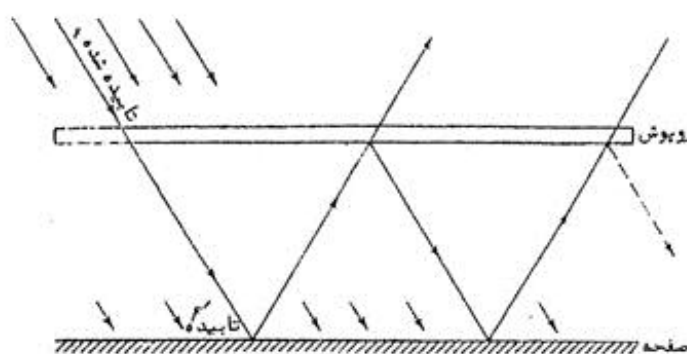
$$n = \frac{F}{F} = \frac{ApTg}{1 - (1 - Ap)Rg} \quad (16-1)$$

اگر قابلیت جذب صفحه به عدد یک نزدیک باشد (که اکثر اوقات چنین است) بازده نوری تقریباً برابر است با :

$$n \cong (Ap \approx 1) \quad (17-1)$$

لذا این نتیجه مهم بدست می آید که : بازده نوری یک پانل تخت تقریباً معادل حاصلضرب قابلیت جذب صفحه در قابلیت عبور روپوش است. اگر روپوش کاملاً شفاف و صفحه ، جذب کننده کامل تابش خورشیدی باشند ، بازده نوری ۱۰۰ درصد خواهد بود.

شکل ۲



شار تابیده بر روی صفحه جذب کننده در نتیجه بازتابهای متعدد

بین صفحه مذکور و روپوش.

مثال : بازده نوری یک پانل خورشیدی با یک روپوش تک لایه را در حالت تابش عمودی با در نظر گرفتن اطلاعات زیر بدست می آورید : $Ap=0/95$, $TII=TI=0/89$, $RII=RI=0/05$ محاسبات را برای یک سیستم با روپوش دو لایه تکرار کنید ، با استفاده از معادله ۱-۱۷ ، بازده نوری را برای یک سیستم با روپوش تک لایه به دست می آوریم :

$$N=(0/95)(0/89)=0/85=\%85$$

طبق معادله ۱-۱۳ در مورد یک سیستم با روپوش دو لایه داریم :

$$T_g = T_2 = (0/89)^2 (1 - \%52) = 0/79$$

با استفاده از معادله ۱-۱۷ بازده نوری را بدست می آوریم :

$$N = (0/95)(0/79) = 0/75 = \%75$$

۲-۵ روکشهای ضد بازتاب برای روپوش ها

اگر یک روپوش به اندازه کافی نازک باشد ، قابلیت انتقال کلی آن به عدد یک نزدیک و قابلیت عبور آن فقط به علت وجود بازتاب در محل سطوح بالایی و پایینی روپوش محدود خواهد بود . می توان با اندود کردن طرفین روپوش توسط یک لایه نازک بازتابهایی را کم کرد (شکل ۱-۹) . در اینجا فقط بازتاب در حالت تابش عمودی را بررسی خواهیم کرد . ضریب بازتاب برای نوری که به صورت عمود بر یک سطح می تابد از معادله ۱-۶ به دست می

$$r = \left(\frac{ng - 1}{ng + 1} \right)^2$$

آید که در مورد سطح مشترک روپوش - هوا این چنین نوشته می شود :

مقدار r برای شیشه $ng \approx 1.5$ تقریباً ۴ درصد است . با رسوب دادن یک لایه نازک به ضخامت sf بر روی یک شیشه ، هم در سطح مشترک هوا - لایه و هم در سطح مشترک لایه - شیشه بازتاب صورت می گیرد . فرض کنید نوری با طول موج مفروض λ_0 عمود بر یک روپوش اندود شده بتابد ممکن است وضعیتی ایجاد کنیم که اثر متقابل امواج منعکس شده از سطوح بالایی و پایینی لایه موجب از بین رفتن آنها شود ، بطوری که بازتاب خالص صفر شود . برای این کار ، باید دو شرط بر آورده شود ، شرط اول این است که دو موج با دامنه های یکسان منعکس شوند . برای این که دامنه دو موج یکسان باشد باید رابطه ضریب شکست لایه با ضریب شکست بصورت زیر باشد :

$$n_f = \sqrt{ng} \quad (18-1)$$

دوم اینکه ، دو موج مذکور باید هنگامی که مجدداً به هوا منعکس می شوند ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشند . اگر ضخامت لایه دقیقاً در رابطه زیر صدق کند ، این شرط محقق می شود .

$$s_f = \frac{m\lambda_0}{2n_f} \quad m=1,3,5,\dots \quad (19-1)$$

مثال : مطلوب است محاسبه ضریب شکست یک لایه که به شیشه $n_g=1.5$ خاصیت غیر بازتابشی می دهد .

حداقل ضخامت لایه ای که باید رسوب داده شود تا شیشه مذکور را برای نور سبز ، $\lambda_0 = 0.5\mu\text{m}$ در حالت

تابش عمودی غیر بازتابشی بسازد چقدر است ؟

بر طبق معادله ۱۸-۱ ضریب لایه باید مساوی باشد با : $n_f = \sqrt{1/5} = 1/22$

حداقل ضخامت لایه با قرار دادن $m=1$ در معادله ۱۹-۱ بدست می آید ، پس :

$$s_f = \frac{1(0.5)}{4(1/22)} = 0.102\mu\text{m}$$

اگر روکش چنان طراحی شده باشد که برای λ_0 ضد بازتاب باشد ، بطور کلی این روکش با شهای را که طول

موجشان با λ_0 متفاوت است باز خواهد تابانید . میتوان ثابت کرد که در حالت تابش عمودی ، نسبت قابلیت

بازتابش طیفی یک روکش شده به قابلیت بازتابش طیفی یک روپوش روکش شده عبارت است از :

$$\gamma_\lambda = \frac{r\lambda}{r} = \frac{(2p/r)(1 + \cos B\lambda)}{1 + 2p \cos B\lambda + p^2} \quad (20-1)$$

$$p = \left(\frac{nf-1}{nf+1}\right)^2 \quad \text{و} \quad r = \left(\frac{ng-1}{ng+1}\right)^2 \quad \text{و} \quad B_\lambda = \frac{\pi\lambda_0}{\lambda} \quad \text{که در آن :}$$

با این شرط که رابطه ۱۸-۱ برقرار باشد .

تابع موجود در معادله ۲۰-۱ در حالت $\lambda = \lambda_0$ صفر است . با میل کردن λ به سوی $\frac{\lambda_0}{2}$ و به سوی λ مقدار این

تابع بعدد یک نزدیک می شود . هنگامی که $\gamma_\lambda = 1$ باشد ، روپوش طوری عمل می کند که گویی بدون روکش

است . سختی معادله ۲۰-۱ را برای یک لایه ($n_f=1.22$) رسوب داده شده بر روی شیشه $n_g=1$ در شکل ۱۰-۱

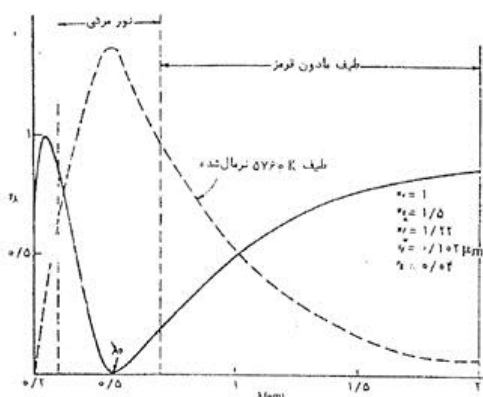
قدیم کرده ایم . ضخامت لایه مذکور 0.102 میکرومتر است . این لایه برای $\lambda_0 = 0.2\mu\text{m}$ هیچ بازتابی ایجاد نمی

کند . با استفاده از رابطه زیر می توان مقدار متوسط ضریب γ را در مورد طیف خورشیدی به دست آورد :

$$\gamma = \int_0^{\infty} \gamma_{\lambda} b_{\lambda}(5760k) d\lambda \quad (21-1)$$

در این رابطه $b_{\lambda}(5760k)$ عبارت است از منحنی نرمال شده جسم سیاه (منحنی نرمال شده منحنی ای است که مساحت زیر آن برابر واحد باشد) با به کار بردن منحنی شکل ۱-۱۰ در معادله ۱-۲۱ نتیجه می شود که $\gamma \cong 1.3$ در نتیجه قابلیت بازتابش منظمی در مورد تابش خورشیدی از 0.04 به 0.0133 تقلیل می یابد این تقلیل خصوصاً هنگامیکه روپوشهای چند لایه به کار رود به نحو قابل ملاحظه ای بازده نوری را بهبود می بخشد .

نمودار ۴



منحنی تغییرات γ_{λ} در مقابل طول موج برای یک لایه رسوبی بر روی شیشه.

در اینجا γ_{λ} نمایانگر نسبت قابلیت بازتاب سیستم (در حالت تابش عمودی) به قابلیت بازتابش شیشه بدون روکش است . روکش چنان انتخاب شده که شیشه را برای $\lambda_0 = 0.5\mu m$ ضد بازتاب می کند . نمودار خط چین عبارت است از منحنی گسیل جسم سیاه 5760k نرمال شده تا مساحت زیر آن برابر واحد باشد .

مثال : بر سطوح بالایی و پایینی یک روپوش خورشیدی با قابلیت انتقال کلی $\alpha = 0.96$ یک لایه رسوب داده شده است تا بازتاب سطحی را از 0.04 به 0.0133 تقلیل دهد . عبورهای کلی روپوش دو لایه مشابه مورد بالا را

با روکش و بدون روکش محاسبه کنید تابش را عمودی فرض کنید . مقادیر روپوش یک لایه با استفاده از معادلات ۹-۱ و ۱۰-۱ بدست می آیند :

$$T \text{ (بدون روکش)} = 0.887 , R \text{ (بدون روکش)} = 0.074$$

و :

$$T \text{ (با روکش)} = 0.936 , R \text{ (با روکش)} = 0.025$$

با استفاده از معادله ۱۳-۱ در مورد روپوش دو لایه داریم :

$$T_2 \text{ (بدون روکش)} = 0.77 , T_2 \text{ (با روکش)} = 0.86$$

با توجه به مقال فوق معلوم می شود که لایه های ضد بازتاب بازده نور پانلهای خورشیدی ، خصوصاً بازده پانلهایی را که بیش از یک لایه روپوش دارند افزایش می دهند . با وجود این ، مشکلات زیادی به هنگام استفاده از روکش به وجود می آید . یک لایه نازک که برای تقلیل بازتاب در حالت تابش عمودی طراحی شده باشد در حالت‌های تابش مایل مؤثر نیست ، بعلاوه برای اینکه لایه مذکور ضد بازتاب باشد ، ضریب آن باید در رابطه ۱-۱۸ صدق کند . در مورد شیشه ($n_g=1.5$) دیدیم که ضریب لایه باید $n_f=1.22$ باشد چون ساخت چنین ماده ای با این ضریب مشکل است معمولاً ساده ای مانند فلورو منیزیم $n_f=1.38$ به جای آن به کار می برند . مجموعه ای از لایه های مواد مختلف را نیز می توان برای تقلیل بازتابها به کار برد . متأسفانه ، هزینه رسوب دادن یکنواخت لایه های مواد مختلف را نیز می توان برای تقلیل بازتابها به کار برد . متأسفانه ، هزینه رسوب دادن یکنواخت لایه ها با کیفیت عالی بر روی سطوح گسترده زیاد است . این مطلب خصوص هنگامی صادق است که سطوح مذکور قابل انعطافند و ضریب انبساط حرارتی آنها با ضریب انبساط حرارتی لایه متفاوت است . نیز وقتی این لایه ها در مجاورت عناصر دیگر قرار بگیرند ، شروع به فشار می کنند . طی تحقیقات اخیر ثابت شده است که با ریختن اسید بر سطح روپوش و زدودن مقداری از آن از بازتابها می توان کاسبت اثر گلخانه ای : اکثر روپوشهای خورشیدی نسبت به تابش خورشیدی بسیار شفاف هستند اما قسمت عمده تابش حرارتی خورشیدی مفید است . وقتی یک روپوش در بالای

صفحه جذب کننده قرار داده می شود روپوش باعث می شود انرژی خورشیدی از آن عبور کند و توسط صفحه مذکور جذب شود. البته، تابش حرارتی ای که صفحه گسیل می کند توسط روپوش سد و مجدداً گسیل می شود. قسمتی از این انرژی به صفحه باز می گردد و به این ترتیب دمای حالت دائمی آن افزایش می یابد. این پدیده اثر گلخانه ای نامیده می شود. برای درک این مطلب یک صفحه جذب کننده را در نظر بگیرید که در فضای بالای جو که در آن اثرات معرفت وجود ندارد بطور معلق قرار گرفته باشد. فرض کنید سطح جلویی آن سیاه شده است و به سوی خورشید قرار دارد علاوه بر این، فرض کنید سطح پشتی نقره اندود شده است تا از تلفات حرارتی در پشت صفحه جلوگیری شود. با برقرار کردن معادله بین شار خورشیدی جذب شده و شار حرارتی گسیل شده دمای حالت دائمی جذب کننده به دست می آید، یعنی:

$$CT_p^4 = 1352w / m^2$$

فرض می کنیم قابلیت فسیل سطح برای تمام طول موجها برابر با واحد باشد. با حل این معادله های دمای صفحه را بدست می آوریم. نتیجه می شود:

$$T_p = T_0 = \left(\frac{1352}{5.67 \times 10^8} \right)^{\frac{1}{4}} = 393k = 120^\circ C$$

حال آنچه را که هنگام قرار دادن یک روپوش در جلو جذب کننده رخ می دهد در نظر می گیریم فرض کنید که روپوش، تابش خورشیدی را عبور می دهد ولی تابش حرارتی را از خود عبور نمی دهد و نسبت به آن طور است. چون تمام تابش حرارتی باز تابیده به فضا از روپوش ناشی می شود. با استفاده از شرایط حالت دائمی، داریم:

$$CT_g^4 = 1352w / m^2 \quad \text{یا} \quad T_g = T_0 = 393k = 120^\circ C$$

چون شیشه حرارت دیده در هر دو جهت بطور یکسان حرارت را گسیل می کند، شار حرارتی گسیل شده توسط روپوش که به جذب کننده می رسد نیز باید $1352w / m^2$ باشد. از این رو، شار حرارتی روپوش بعلاوه تابش خورشیدی رسیده به جذب کننده $2 \times 1352 = 2704w / m^2$ است. با برابر قرار دادن این مقدار و شار تابیده توسط جذب کننده، نتیجه می گیریم که:

$$CT_g^4 = 2704$$

مانع عبور شار حرارتی تابیده شده توسط صفحه f_p می شود این روپوش سپس مقداری از این شار F_g را دوباره به صفحه گسیل می کند . شار خورشیدی S بدون هیچ تغییری از شیشه میگذرد .

$$T_p = \left(\frac{2704}{5.67 \times 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}} = 647k = 194^\circ C \quad \text{با}$$

از این رو بطور نظری ، روپوش کدر نسبت به تابش حرارتی قادر است دمای جذب کننده برابر ۱۲ درجه سانتیگراد به ۱۹۴ درجه برساند در عمل ، این افزایش خیلی قابل ملاحظه نیست و دلایل عمده آن این است که اثرات همرفت موجب سرد شدن صفحه جذب کننده می شوند . اثر گلخانه ای در تشکیل آب و هوای زمین نیز نقش مهمی دارد . سطح زمین وجود اطراف آن به ترتیب همانند صفحه جذب کننده و روپوش عمل می کند . اثر وجودی جو زمین یا اثر گلخانه ای موجب می شود که دمای سطح زمین در مقایسه با دمایی که در صورت نبودن جو پدید می آید بیشتر باشد .

۲-۶ روکش های جذب کننده انتخابی

یک روش مؤثر برای تقلیل تلفات حرارتی از صفحه جذب کننده یک پانل حرارتی خورشیدی استفاده از روکشهای جذب کننده انتخابی است . روکش انتخابی ایده آل روکش است که تابش خورشیدی را کاملاً جذب و تابش حرارتی را بطور کامل بازتابش کند . چنین روکشی باعث می شود سطح ، گسیل کننده ضعیفی برای تابش حرارتی را بطور کامل بازتابش کند . چنین روکشی باعث می شود سطح ، گسیل کننده ضعیفی برای تابش حرارتی باشد . منحنی قابلیت جذب یا قابلیت گسیل طیفی یک روکش ایده آل در نشان داده شده است . حالت ایده آل چنین است که طول موج قطع λ_c . بین ناحیه خورشیدی و ناحیه حرارتی طیف الکترو مغناطیسی یعنی در گستره $2\mu m \leq \lambda_c \leq 6\mu m$ قرار داشته باشد .

منحنی نامنظم فوق منحنی نوعی یک روکش انتخابی واقعی است . روکش واقعی به وسیله قابلیت جذب متوسط ، a در سراسر طیف خورشیدی و قابلیت گسیل متوسط E در طول ناحیه حرارتی مشخص می شود . برای این درک

این که چگونه روکش انتخابی دمای سطح جذب کننده را افزایش می دهد تصور کنید هنگامی که این چنین سطحی در فضا معلق است و در معرض تابش خورشیدی قرار دارد چه اتفاق می افتد . چنانچه تلفات حرارتی وجود نداشته باشند ، در حالت دائم رابطه زیر برقرار است .



قابلیت گسیل یا جذب طیفی یک روکش انتخابی ایده آل که طول موج قطع آن λ_c است.

شار حرارتی گسیل شده = شار خورشیدی جذب شده

$$\int_0^{\infty} \alpha_{\lambda} s_{\lambda} d_{\lambda} = \int_0^{\infty} E_{\lambda} B_{\lambda}(T_p) d_{\lambda} \quad (22-1)$$

در این رابطه s_{λ} شار طیفی ثابت خورشیدی ، S و $B_{\lambda}(T_p)$ تابع پلانک دردهای صفحه است . طبق قانون کیدشهم داریم : $E_{\lambda} = \alpha_{\lambda}$. در مورد یک جذب کننده انتخابی ایده آل (جذب کننده ای که در آن به ازای $0 \leq \lambda \leq \lambda_c$ و $\alpha_{\lambda} = E_{\lambda} = 1$ و در سایر موارد $E_{\lambda} = \alpha_{\lambda} = 0$ است) رابطه زیر برقرار است :

$$\int_0^{\lambda_c} s_{\lambda} d_{\lambda} = \int_0^{\lambda_c} B_{\lambda}(T_p) d_{\lambda}$$

$$[f(\lambda_c T_{\theta})] s = [F(\lambda_c T_p)] C T_p^4 \quad (23-1) \quad \text{یا:}$$

در این رابطه $T_{\theta} = 5760k$ دمای طیف خورشیدی و $f(x)$ تابعی است که در معادله ۱-۱۴ تعریف و در جدول مقادیر آن ارائه شده است . اگر فرض کنیم که λ_c بزرگتر از $2\mu m$ است . می توانیم بنویسیم 1 $F(\lambda_c T_{\theta})$ در نتیجه داریم :

$$S \approx F(\lambda_c T_p) \in T_p^4 \quad (\lambda_c > 2\mu m) \quad (24-1)$$

توجه کنید که اگر قطع وجود نداشته باشد (یعنی $\lambda_e \rightarrow \infty$ در این صورت f به سمت بی نهایت میل می کند در این حالت رابطه فوق نتیجه مربوط به یک روکش غیر انتخابی یا یک جذب کننده خشی به دست می دهد ، یعنی :

$$T_p \rightarrow T_0 = \left(\frac{S}{\sigma}\right)^{\frac{1}{4}} = 393k = 120^\circ C$$

برای یافتن مقدار T_p معادله ۱-۲۴ را به شکل زیر می نویسیم :

$$f(x)x^4 = x_0^4 \quad (25-1)$$

که $x = \lambda_e T_p = 393\lambda_e$ و $x = \lambda_e T_0 = 393\lambda_e$ است در صورت معلوم بودن مقدار λ_e معادله ۱-۲۵ را می توان به کمک روشهای عددی بر حسب x حل کرد . نمودار آن می توان با استفاده از رابطه $T_p = x/\lambda_e$ مقدار T_p را بدست آورد . مثال : دمای حالت دائم یک صفحه جذب کننده معلق در فضا را تخمین بزنید . این صفحه در معرض شار ثابت خورشیدی است و سطح آن با یک جذب کننده انتخابی ایده آل که طول موج قطع آن $\lambda_e = 4/\mu m$ است اندود شده است . تلفات پشت صفحه را صفر فرض کنید . با قرار دادن $x_0 = (4)(396) = 1572\mu m$ در معادله ۱-۲۵ نتیجه می گیریم که : $f(x)x^4 = (1572)^4$ پاسخ مورد نظر عبارت است از $x = 3492\mu m$ درستی نتیجه فوق با توجه به این واقعیت $f(2492) = 0/158$ و نظر به اینکه : $(0/158)(2492)^4 = (1572)^4$

$$T_p = \frac{2492\mu m - k}{4\mu m} = 623k = 350^\circ C$$

تأیید می شود بنابراین این :

افزایش چشمگیر دمای صفحه در حالت استفاده از روکش انتخابی (یعنی از ۱۲۰ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد) توجه کنید . افزایش دمای صفحه در پانل های حرارتی خورشیدی چندان قابل ملاحظه نیست زیرا افزایش تلفات همرفتی موجب جبران مقداری از کاهش تلفات تابشی می شود . علاوه بر این ، قابلیت جذب خورشیدی روکشهای واقعی از یک کمتر و قابلیت گسیل حرارتی آنها اندک ولی بیشتر از صفر است . همانطور که در ملاحظه می کنیم روکش واقعی در ویژگی های طیفی ، خودداری قطع بارز و مشخصی نیست.

روکش انتخابی واقعی معمولاً با نسبت قابلیت جذب متوسط آن در طول طیف خورشیدی $(0/2\mu\text{m} < \lambda < 2\mu\text{m})$ به قابلیت گسیل متوسط آن در سراسر ناحیه حرارتی طیف $(2\mu\text{m} < \lambda < 20\mu\text{m})$ یعنی \bar{E} مشخص می شود.

هر چه نسبت $\frac{\alpha}{\bar{E}}$ بیشتر باشد، روکش موثرتر عمل می کند. البته، این نسبت در یک جذب کننده بی اثر برابر یک است.

۲-۷ متمرکز کننده ها

در عمل، دماهای حالت دائم جمع کننده های تخت سازه، حتی در شرایط ایده آل، بسیار بندرت از ۱۵۰ درجه سانتیگراد تجاوز می کند در سرمای سخت زمستان، دماهای کار کرد به میزان قابل ملاحظه ای زیر ۱۰۰ °C است زیرا تلفات حرارتی به محیط، حداقل مقدار خروجی ممکن را محدود می کند هر چه ظرفیت انتقال حرارت کلی به محیط کوچکتر باشد، دما بیشتر خواهد بود در نتیجه، دماهای ایجاد شده در صفحات تخت که درون آنها خلاء بینی بوده و دارای روکش های جذب کننده انتخابی هستند، در مقایسه با صفحات تخت شاره بیشتر است چون هر سه شیوه انتقال حرارت از یک سطح گرم شده با مساحت مذکور متناسبند. اگر این مساحت کوچکتر باشد تلف حرارت بطور متنابهی کم خواهد بود از این رو اگر توان خورشیدی رسیده را بتوان متمرکز و بر روی مساحت کوچک جذب کننده متوجه ساخت، دمای خیلی زیادی بدست خواهد آمد.

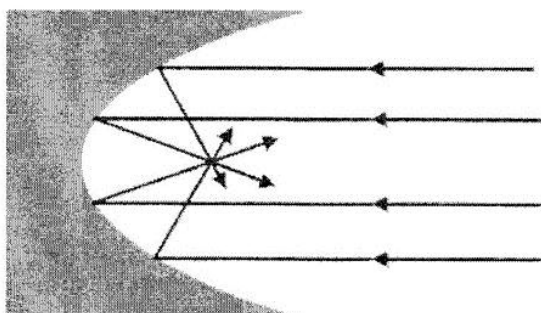
با جمع کننده های خورشیدی متمرکز کننده می توان دماهای بیشتری نسبت به جمع کننده های تخت ایجاد کرد و آنها را با تلفات حرارتی کمتر و بازده حرارتی بیشتر به کار انداخت، اما متمرکز کننده ها دارای چندین عیب بزرگ هستند. اول اینکه آنها فقط از انرژی مستقیم یا تک جهتی تابش خورشیدی می توانند استفاده کنند. چون اغلب مؤلفه خشی بی شار ۲۰ درصد کل شر تابیده را در بر می گیرد، عموماً بازده نوری یک متمرکز کننده کمتر از بازده یک جمع کننده تخت است. محدودیت مهمتر متمرکز کننده ها این است که یک متمرکز کننده ساده فقط

هنگامی می تواند کار کند که بطور صحیح در جهت پرتو مستقیم خورشیدی قرار گرفته باشد. در نتیجه، نوعی دستگاه ردیاب را باید به کار برد که این خود بر پیچیدگی و هزینه سیستم می افزاید، بنابر این، عمدتاً در جاهایی که دماهای خیلی زیاد مورد نیاز باشد، از متمرکز کننده ها استفاده می شود متمرکز کننده ها معمولاً در سیستمهای گرمایش ساختمانها و تولید آب داغ به کار برده نمی شوند، کانوی کران تابش سیستم خورشیدی را می توان با آینه ها یا عدسیها انجام داد. عدسیها چند عیب مشخص دارند. عموماً ساخت آنها، خصوصاً برای سیستمهای جمع کننده بزرگ، پر هزینه است و بعلاوه خیلی سنگین هستند و نصب آنها بسیار دشوار است. وقتی تابش از یک عدسی عبور می کند، مقداری از انرژی آن جذب می شود و در نتیجه بازده نوری آن کاهش می یابد در مقابل، هزینه آینه ها کمتر و وزن آنها سبکتر است. چون آینه ها از طریق بازتابش تابش را متمرکز می کنند، حداقل انرژی را جذب می کنند. در این فصل وارد نوری آینه های متمرکز کننده را بررسی خواهیم کرد. نتایجی را که در اینجا برای آینه ها به دست می آید می توان با اصلاحاتی کوچک درباره عدسیها به کار برد.

۲-۸ آینه های سهوی و مدور

برای درک این که یک آینه منحنی شکل چگونه انرژی مستقیم خورشیدی را متمرکز می کند، یک آینه دو بعدی سهوی شکل را در نظر نمی گیریم. معادله ریاضی سهمی به قرار زیر است

$$X^2=4fy \quad (26-1)$$



شکل ۳: آینه شلجمی شکل

خط تقارن در این مورد محور Y است را به نام صور سهمی و هر پرتوی را که خط سیر آن موازی این محور باشد پرتو پیدا محوری می نامند . نقطه f بر روی محور ، کانون سهمی نامیده می شود . یک نقطه مشخص را بر روی سهمی در نظر بگیرید . می توان ثابت کرد زاویه ای که یک خط پیدا محوری که به آن نقطه کشیده شده است . زاویه ای که خط رسم شده از آن نقطه به کانون با آینه می سازد برابر است . در نتیجه ، جهت تمام پرتو های پیدا محوری تابیده بر روی یک آینه سهوی پس از بازتابش به سوی کانون یا نقطه کانونی خواهد بود .

نسبت تمرکز ($C2$) یک جمع کننده کانون کننده عبارت است از نسبت بخار تابیده بر روی یک سطح واقع بر نقطه کانونی به شار دریافت شده ، در واقع اگر یک متمرکز کننده می توانست تمام شار دریافتی را متوجه یک نقطه کند ، نسبت تمرکز نامحدود می بود ، زیرا توان تابشی بر سطحی با مساحت صفر متوجه می شد . البته ، عملاً عوامل بسیاری وجود دارد که مانع می شود نسبت تمرکز نامحدود می بود ، زیرا توان تابشی بر سطحی با مساحت صفر متوجه می شد . البته عملاً عوامل بسیاری وجود دارد که مانع می شود نسبت تمرکز نامحدود گردد . عامل نخست اینکه انحنای یک آینه هیچگاه کامل و دقیق نیست . دوم اینکه پرتو های خورشیدی تابیده کاملاً هم جهت نیستند و اندکی واگرايند . عامل آخر این که حتی اگر انحنای آینه کامل و پرتو های خورشیدی کاملاً یک سوء می بودند ، پدیده ای به نام پراش ذاتاً سبب کفی تاری می شد . پدیده پراش به این دلیل رخ می دهد که تابش از امواج الکترو مغناطیسی تشکیل شده است . مدلی که در اینجا برای نشان دادن تابش خورشیدی به کار برده شد صرفاً یک مدل تقریبی است . از این رو ، قانون بازتاب که در مورد پرتو ها دقیقاً صادق است در مورد امواج فقط بطور تقریبی صادق است . اگر ابعاد آینه نسبت به طول تابشی خورشیدی بزرگ باشد . که معمولاً همین طور است تاری ناشی از پراش مشکلی ایجاد نمی کنند . تابش خورشیدی را نمی توان در یک متمرکز کرد ، چون اصولاً پرتو های خورشید واگرا هستند ، علت دیگر آن است که آینه ها را نمی توان بصورت سهمی های دقیق شکل داد . چون انحرافهای خارج از محور یک سهموی را بدشواری می توان کم کرد ، یک بازتابش کننده ساده تر ، یعنی آینه مدور ، را مورد بررسی قرار خواهیم داد . جدا از ساده بودن آینه مدور به لحاظ نظری ، ساخت آن از آینه سهموی ،

آسانتر است .

آینه مدور عبارت است از آینه ای که شکل انحنای آن دایروی باشد . معادله دایره چنین است :

$$X^2+(y-R)^2=R^2 \quad x^2=2Ry[1-(y/2R)] \quad (27-1)$$

این معادله دایره ای است به شعاع R که مرکز آن بر نقطه $(0, R)$ واقع است . معادله ۲۷-۵ را به شکل زیر نیز می توان نوشت :

$$x^2 = 2Ry \left[\cos^2 \frac{\theta}{2} \right]$$

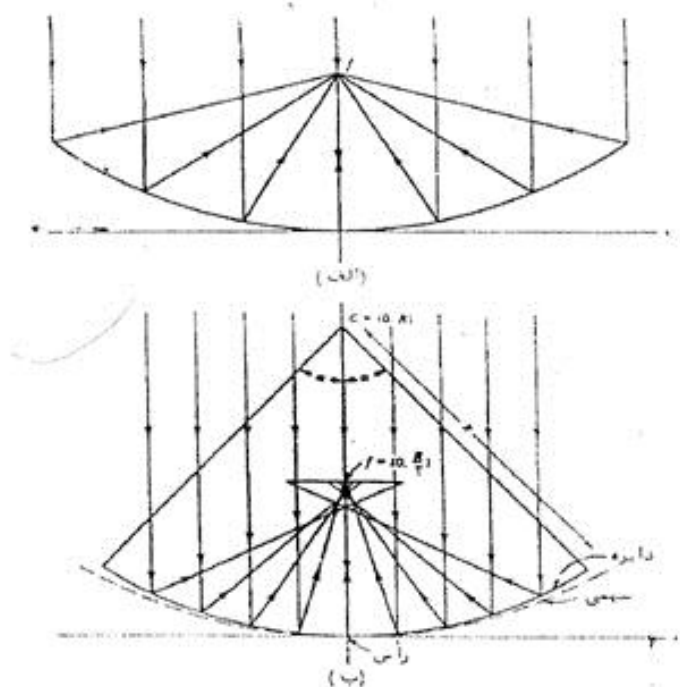
که در آن θ زاویه بین محور منحنی و خطی است که از C به یک نقطه واقع بر منحنی (X, Y) کشیده شده است . اگر آینه بصورت قطاعی از دایره باشد ، در این صورت θ در همه جا در امتداد قوس ، کوچک خواهد بود و می

$$x^2=2Ry \quad (28-1) \quad \text{توانیم مقدار } \cos^2 \frac{\theta}{2} \text{ را تقریباً برابر یک قرار دهیم و بنویسیم :}$$

از مقایسه معادله های ۲۸-۱ و ۲۶/۱ در می یابیم که یک آینه مدور تقریباً مشابه یک آینه سهموی با طول کانونی

$f = \frac{R}{2}$ رفتار می کند ، با این شرایط که فقط قطاع کوچکی از دایره به کار برده شود . در آینه هایی که بصورت

قطاعهایی بزرگی از دایره ساخته می شوند ، عیب کج نمائی کروی وجود دارد .



شکل ۴: پرتوهای پیدا محوری که بر روی یک آینه سهموی تابیده شده و به نقطه کانونی آن بازتابیده می شوند. پرتوهای پیدا محوری که از یک آینه مدور بازتابش شده اند.

۲-۹ آینه های کروی

دو شکل سه بعدی واضح آینه مدور عبارت است از آینه های کروی و استوارنه ای، آینه کروی مقعر (همگرا) یا بازتابش کننده بشقابی قسمت کوچکی از یک کره به شعاع R و طول کانونی $f = \frac{R}{2}$ است. در این آینه پرتوهای پیدا محوری پس از بازتاب تقریباً در نقطه کانونی متمرکز می شوند. در صورتی که انحرافهای ناشی از نقایص آینه و انحرافهای ناشی از نقایص آینه و انحرافهای ناشی از پدیده پارش را نادیده بگیریم. آینه های کروی مقعر می توانند تصاویر واضحی از اشیاء ایجاد کنند. اگر یک جسم بر روی محور آینه در فاصله p از رأس آینه (نقطه تلاقی محور و آینه را رأس می گویند) قرار گیرد تصویر آن بر روی محور در فاصله q پدید خواهد آمد که q از معادله آینه بدست می آید.

$$q = \frac{f}{1 - f/p} \quad \text{یا} \quad \frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

بزرگنمایی، m طبق تعریف عبارت است از نسبت اندازه تصویر به اندازه جسم و مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید: (30-1)

حال فرض کنید آینه در جهتی قرار گرفته که قرص خورشید (جسم) بر روی محور آینه واقع باشد. چون فاصله جسم در مقایسه با فاصله کانونی آینه بسیار زیاد است، با استفاده از معادلات ۱-۲۹ و ۱-۳۰ موضوع تصویر خورشید و بزرگنمایی آن عبارت خواهد بود از:

$$m = \frac{R'\Theta}{R\Theta} = \frac{f}{p}, q \quad f$$

به این ترتیب تصویر قرص خورشید در نقطه کانونی ظاهر می شود و شعاع آن به مقدار زیر تقلیل می یابد:

$$R'\Theta \quad f \frac{RO}{R} = (0/0036)f \quad (31-1)$$

پرتوهایی که در نقاط نزدیک رأس به آینه می رسند تقریباً به سوی نقطه کانونی بازتابش می شوند. پرتوهایی که از لبه های آینه بازتابش شده اند انحراف زیادی دارند. خط منحنی مقطع نشان دهنده خط مرزی یک آینه سهموی است که نقطه کانونی آن با نقطه کانونی آینه مدور یکی است.

نسبت شعاع خورشید را به فاصله آن از زمین $0/0046$ فرض کرده ایم. در این آینه معمولی با فاصله کانونی ها $f=10$ شعاع تصویر خورشید عبارت است $R'o=0/046\text{cm}=0/46 \text{ mm}$ به این شرط که هیچگونه انحرافی وجود نداشته باشد. در واقع، معادله ۱-۳۱ حداقل اندازه تصویر خورشید را که کمتر از آن امکان ندارد به دست می دهد. نمی توان نقطه ای از خورشید ایجاد کرد زیرا پرتوهای آن کاملاً موازی نیستند. در عمل، حتی انحرافهای ناچیز، تصویر تاری را به وجود خواهند آورد که مقدار آن دو یا سه برابر مقدار ارائه شده در معادله ۱-۳۱ است چون تجزیه و تحلیل تاری را به وجود خواهند آورد که مقدار آن دو یا سه برابر مقدار ارائه شده در معادله ۱-۳۱ است. چون

تجزیه و تحلیل تاری تصویر از حوصله این کتاب، خارج است، از معادله ۱-۳۱ برای تشریح نیمه کمی خصوصیات متمرکز کننده استفاده خواهیم کرد.

هنگامی که انحرافی وجود نداشته باشد و سطح آینه کاملاً خاصیت بازتابشی داشته باشد، مقاوم توان تابشی رسیده به آینه به طرف تصویر واقع بر نقطه کانونی متوجه خواهد بود. با به کار بردن معادله زیر نسبت تمرکز به دست می

$$\text{Cr} = \frac{A}{A'} \quad \text{آید:}$$

مساحت قطع شدگی یا دهانه برابر است با: (جمع کننده کروی) $A = \pi s^2$

در این فرمول S شعاع دهانه است. می توانیم بنویسیم:

$$S = R \sin \alpha \quad (32-1)$$

که در این فرمول 2a اصطلاحاً زاویه لبه نامیده می شود و عبارت است از زاویه مرکزی مقابل آینه، حداقل مساحت

$$A' = \pi (R'O)^2 \quad \text{تصویر برابر است با:}$$

در نتیجه حداقل نسبت تمرکز برابر است با:

$$\text{Cr}_{\max} = \frac{\pi s^2}{\pi (RO)^2} = \left(\frac{2 \sin \alpha}{0/0046} \right)^2 \quad (33-1) \quad \text{(جمع کننده کروی)}$$

به این ترتیب حداکثر نسبت تمرکز ممکن برای یک آینه کروی با افزایش زاویه ای که آینه آن را می پوشاند افزایش می یابد. اما معادله ۱-۳۳ فقط هنگامی صادق است که a خیلی بزرگ نباشد بطوری که بتوان از کجمنایی کروی چشم پوشید.

مثال: شعاع یک آینه کروی ۵۰ سانتی متر و زاویه لبه آن ۳۰ درجه است. اگر انحرافها شعاع تصویر قرص خورشیدی را به چهار برابر مقدار حداقل افزایش دهند، نسبت تمرکز آینه را بیابید. شار متوسط و توان تابیده: بر روی یک جذب کننده کوچک واقع در نقطه کانونی را بیابید. شار مستقیم خورشیدی را برابر 700w/m2 بگیرید.

$$\text{Cr} = \left(\frac{2 \sin 15^\circ}{0/0046} \right)^2 = 12663 \quad \text{با قرار دادن } a=150 \text{ در معادله ۱-۲۳ در می یابیم که:}$$

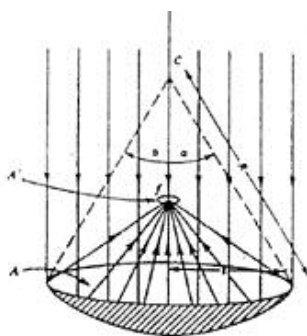
چون انحرافها شعاع تصویر را چهار برابر می کنند .

$$Cr = \frac{12663}{16} = 791 \text{ در نتیجه :}$$

نسبت تمرکز ۱۶ با رقم می شود . در نتیجه :

$$p = F\pi s^2 = F\pi R^2 \sin^2 \alpha = (700)(\pi) \sin^2 150^\circ = 36/8$$

$$F' = (Cr)(F) = (791)(700) = 5/54 \times 10^5 \text{ wm}^2 \text{ : شار متوسط در نقطه کانونی برابر است با :}$$



شکل ۵ : یک آینه بشقابی کروی به شعاع R و زاویه لبه 2a، مساحت دهانه آن برابر است با

$$A = \pi a^2 \text{ یک قرص جذب کننده با مساحت } A' \text{ در نقطه کانونی آن قرار داده شده است.}$$

زاویه پذیرش: اگر یک آینه کروی در جهتی قرار داده شود که خورشید بر روی محور آن واقع شود ، تصویر

خورشید تقریباً در منطقه کانونی بر روی محور آن ظاهر خواهد شد . البته ، اگر حرکت خورشید سبب شود که

خورشید در محور آینه فاصله بگیرد ، تصویر آن نیز از محور فاصله خواهد گرفت ، چون آینه کروی است تصویر بر

روی قوسی به شعاع $f = \frac{R}{2}$ حول مرکز انحنای آینه حرکت می کند (شکل ۱-۱۶) اگر خورشید به اندازه زاویه

ϕ از محور رد شود ، فاصله تصویر آن تا محور چنین خواهد بود : $\partial = f\phi$

در این رابطه ϕ بر حسب رادیان است.

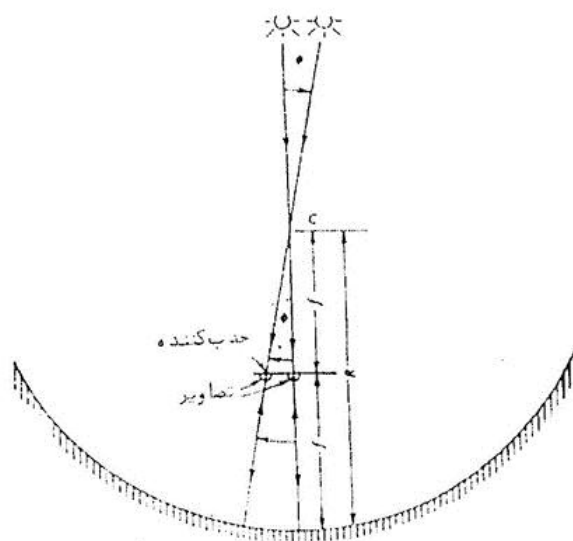
فرض کنید جذب کننده قرصی است به شعاع b و به قسمتی بر روی آینه قرار داده شده که مرکز آن منطبق بر نقطه کانونی واقع بر محور آینه باشد تصویر خورشید روی جذب کننده می افتد بشرطی که $\theta < b$ باشد.

$$\text{از رابطه فوق نتیجه می شود که: } \varphi < \varphi_{\max} = \frac{b}{f}$$

فرض می کنیم تصویر خورشید خیلی کوچکتر از اندازه جذب کننده باشد ، لذا از معادله ۳۴ نتیجه می گیریم که زاویه پذیرش با کاهش اندازه جذب کننده تقلیل می یابد این امر به نوبه خود عمل تعقیب خورشید را مشکل می کند.

مثال : یک آینه کروی با فاصله کانونی ۲۵ سانتی متر دارای قرص جذب کننده ای به شعاع ۰/۵ سانتی متر است که در نقطه کانونی و بر روی محور آن قرار گرفته است. مطلوب است محاسبه حداکثر زاویه بین پرتوهای خورشیدی و محور آینه بطوریکه تصویر خورشیدی بر روی جذب کننده بیفتد. (انحرافها را در نظر نگیرید.)

$$\text{با استفاده از معادله ۱-۳۴ داریم: } \varphi_{\max} = \frac{0/5}{25} = 0/02 = 1/15^\circ$$



شکل ۶ : زاویه پذیرش

این شکل نشان می دهد که چگونه در اثر حرکت خورشید و دور شدن آن از محور ، تصویر خورشید روی قرص جذب کننده به اندازه زاویه ϕ حرکت می کند.

هرچند برای افزایش زاویه پذیرش می توان سیستمهای نوری چند جزئی را به کار برد. ولی مشکل اصلی همچنان باقی می ماند. برای اینکه این زاویه را افزایش دهیم ، باید مساحت جذب کننده را زیاد کنیم . این مطلب خود میزان جذب متمرکز کننده را کم می کند. زیرا با افزایش مساحت جذب کننده تلفات حرارتی نیز افزایش می یابد. در سیستمهای پشت سرهم (پیکانی) ثابت لازم است برای این که جمع کننده ها به مدت طولانی تری از روز قادر به کار باشند این مطلب را نادیده بگیریم .

۲-۱۰ متمرکز کننده های آبشخوری (استوانه ای)

اصول نوری آینه های مدور در مورد متمرکز کننده های بشقابی نیز صادق است و بعلاوه می توان آنها را در متمرکز کننده های آبشخوری (استوانه ای) نیز بکار برد اصول ریاضی آن نیز کاملاً مشابه است به جز اینکه تصویر خورشید بر روی خط کانونی بصورت نواری بعرض $w'' = 2R_0$ و طول با ظاهر خواهد شد. (L طول آبشخور است

). طبق معادله ۱-۳۱ حداقل عرض تصویر برابر است با : $w' = 2(0/0046)f$

در نتیجه مساحت تصویر معادل است با : $A' = W'L = 2(0/00046)FL$

مساحت دهانه یا مساحت دریافت کننده برابر است با :

$$(۱-۳۶) \quad A = WL \quad (\text{جمع کننده استوانه ای})$$

و $2a$ زاویه لبه است. با ترکیب معادله های ۱-۳۵ و ۱-۳۶ و ۱-۳۷ حداکثر نسبت تمرکز را بدست می آوریم :

$$(1-38) \quad Cr = \frac{A}{A'} = \frac{2\sin\alpha}{0/0046} \quad (\text{جمع کننده استوانه ای})$$

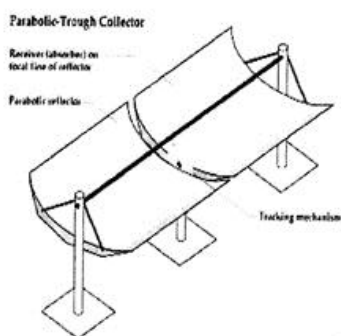
از مقایسه معادله های ۱-۳۳ و ۱-۳۸ در می یابیم که حداکثر نسبت تمرکز نظری برای یک تگار استوانه ای برابر است با ریشه دوم حداکثر نسبت تمرکز برای بشقاب کروی با زاویه لبه یکسان . به دلایل عملی ، معمولاً نسبت تمرکز کننده حداکثر ۳۶۰۰ است . در نتیجه حداکثر نسبت تمرکز یک آبشخور (استوانه ای) تقریباً ۶۰ است .



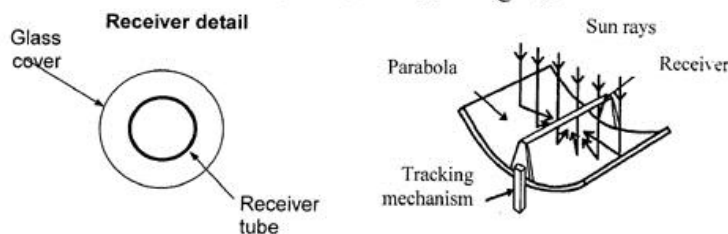
شکل ۷: متمرکز کننده های آبشخوری

یک جمع کننده تغاری با لوله جذب کننده که در امتداد خط کانونی واقع است . سیال جاری در درون لوله توسط شار متمرکز شده داغ می شود. متمرکز کننده های آبشخوری با وجود این که نسبت متمرکز شان کم است ، ولی مزایای واضحی دارند . نخستین مزیت آنها این است که کاربرد آنها در پانلهای حرارتی از متمرکز کننده های بشقابی بهتر است زیرا لوله های جذب کننده حاصل سیالات را می توان در امتداد خطوط کانونی آنها قرار داد. دوم، این که تأثیر خطای ردیابی در کاهش بازده آبشخورهای (استوانه ای) نسبت به جمع کننده های بشقابی کمتر است. پس از آنکه یک بار آنها را بطور مستقیم در جهت خورشید نشانه روی کردیم فقط حرکت خورشید در جهت عمود بر خط کانونی آبشخور باعث محدود شدن کارایی آن می شود. هرچند مایل بودن پرتوهای خورشید مقدار شار دریافتی را کاهش می دهد ، حرکت خورشید در جهت موازی با خط کانونی آبشخور همچنان وضعیت کانونی بودن تصویر را حفظ می کند. برای مثال ، فرض کنید یک آبشخور (استوانه ای) چنان نصب شده باشد که محور آن با محور چرخش زمین موازی باشد، یعنی محور آن در امتداد محور است.

این آبشخور فقط به ردیابی روزانه نیاز دارد تا زاویه ساعتی خورشید را دنبال می کند. آبشخور مذکور پرتوهای خورشیدی را بدون در نظر گرفتن متمم میل متمرکز میکند و در نتیجه نیازی به تنظیم فصلی ندارد. گرچه این قبیل تنظیمات به دلیل این که شار دریافت شده را به حداکثر می رسانند مطلوبند ولی برای حفظ وضعیت کانونی بودن تصویر به آنها نیاز نیست. اما، یک بشقاب کروی هم به ردیابی فصلی دائم و هم به ردیابی روزانه احتیاج دارد.



بهرخ یک جمع کننده چهار آبشخوری. یک پانل با آبشخور منفرد که مساحت دهانه آن با مساحت این جمع کننده برابر باشد ضرورتاً خیلی ضخیمتر خواهد بود.



شکل ۸: اجزای داخلی یک جمع کننده سهموی

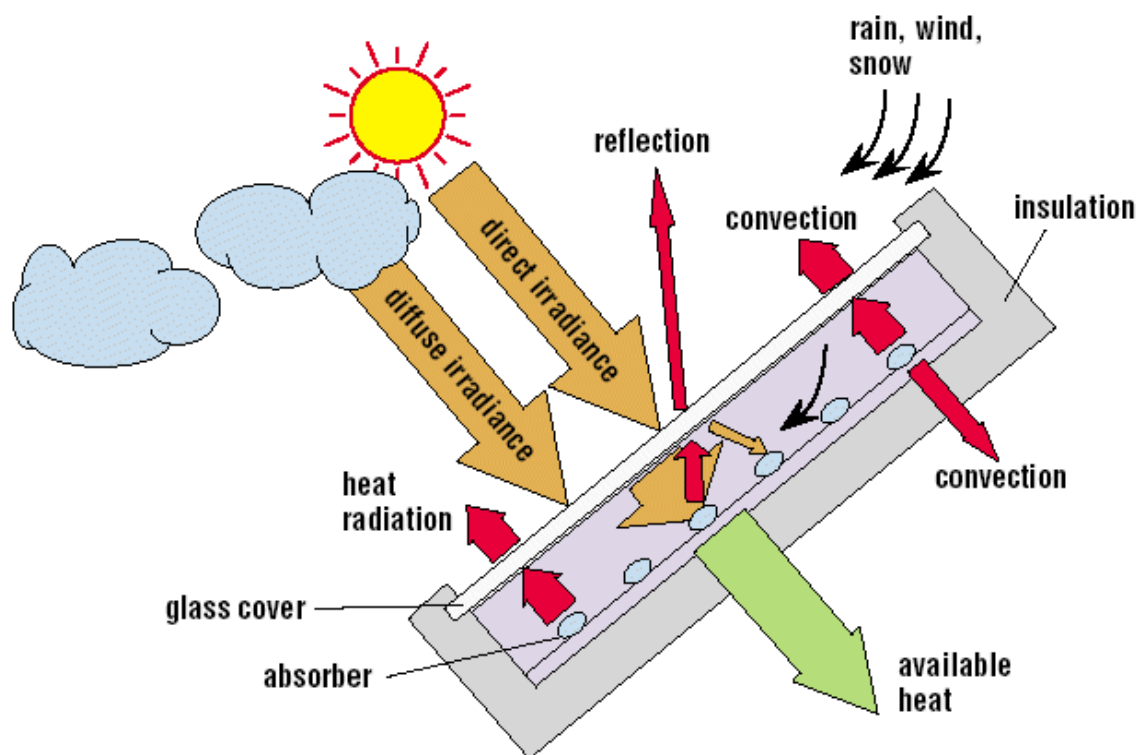
فصل سوم

سیستمهای حرارتی خورشیدی

در فصل قبل جنبه های نظری و تجربی پانل های حرارتی خورشیدی را بررسی کردیم. در این فصل سیستم گرمایش خورشیدی را بطور کلی در نظر می گیریم. بویژه به این مطلب خواهیم پرداخت که چگونه رشته ای از پانلهای خورشیدی را در کنار یکدیگر قرار داده و با وسایل دیگر مرتبط کنیم تا یک سیستم گرم کننده کامل مؤثر و مقرون به صرفه داشته باشیم.

۱-۳ سمت گیری رشته پانل ها

پانل های تخت بر خلاف متمرکز کننده ها که معمولاً به سیستم ردیابی روزانه نیاز دارند ، قادرند با سمت گیری ثابت کار کنند. هر چند عمل ردیابی سبب بهبود کارایی یک صفحه تخت خواهد شد ، اما معمولاً بهره حاصل نسبت به هزینه های بیشتری که در مراحل ساخت نگهداری دستگاه ردیابی صرف می شود مطابقت می کند.



شکل ۱: سمت گیری رشته پانل ها

یک رشته ثابت از پانل های تخت را باید در جهتی قرار داد که در مدت فصل کار آن شار دریافت شده روزانه حداکثر مقدار را داشته باشد ، از آنجا که تعیین بهترین زاویه کج شدگی نسبت به تابشی پخشی خورشید (اگر غیر ممکن نباشد) مشکل است ، بهترین مقدار آن نسبت به مؤلفه مستقیم را به دست خواهیم آورد . با استفاده از معادله های 10-1 و 16-1 و 13-1 و انتگرال گیری از ساعاتی که آفتاب گیری ممکن است ، شار مستقیم روزانه ای را بدست می آوریم که توسط رشته ای ثابت با مختصات کج شدگی Δ و Ψ دریافت می شود :

$$F = S \int_1^2 \ell^{-r/\cos Z} \cos \theta dt \quad (1-2)$$

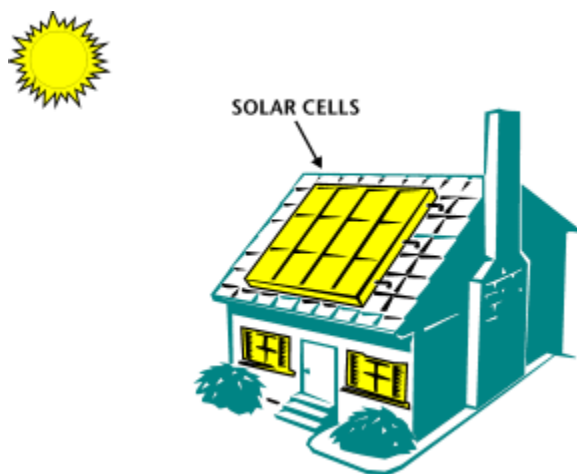
در این فرمول S برابر 1352 W/m^2 (ثابت خورشیدی) است .

τ ضخامت نوری جو زمین است .

Z زاویه سمت الراس خورشیدی است . (با زمان خورشیدی تغییر می کند ، معادله 10-1 را ملاحظه کنید)

θ زاویه تمایل پرتوهای خورشید نسبت به مجموعه است . (با زمان خورشیدی تغییر می کند ، معادله ۱۶-۱ را

ملاحظه کنید)



شکل ۲ : تابش روی پانل

t_1 , t_2 زمان های خورشیدی است که بین آنها $\cos \theta$ مثبت است یعنی هنگامیکه پرتوی خورشید بروی سطوح جلویی رشته می تابد . Δ, Ψ به ترتیب زاویه سمت و زاویه مایل بودن رشته هستند . در جدول ۱-۲ ، شارهای

روزانه به دست آمده از معادله ۱-۲ را ثبت کرده ایم .

این مقادیر برای مجموعه ای در متمم عرض جغرافیایی $L = 49^\circ$ و ضخامت نوری جو $\tau = 0.3$ است ، برای مجموعه های رو به جنوب ، شار روزانه در خلال هر یک از فصول هنگامی بیشترین مقدار خود را دارد که مایل بودن بقسمی انتخاب شده باشد که هنگام ظهر خورشیدی مجموعه مذکور تقریباً عمود بر پرتو های خورشید قرار گیرد ، یعنی هنگامی که :

هنگام انقلاب زمستانی یک رشته عمودی رو به جنوب موثرتر از رشته $|D' - L'| = Z_{\text{ظهر}} \approx \Delta$ افقی است . هنگام انقلاب تابستانی عکس این مطلب صادق است . همان طور که از جدول ۱-۲ ملاحظه می شود یک رشته رو به شرق (یا غرب) عموماً از رشته ای رو به جنوب کمتر مؤثر است بعلاوه توجه کنید که برای یک رشته رو به شرق (یا غرب) هر قدر آن را افقی تر قرار دهیم شار دریافت شده بیشتر افزایش می یابد . اگر بخواهیم از یک رشته خورشیدی در متمم عرض جغرافیایی $L' = 49^\circ$ برای گرمایش هوا در خلال انقلاب زمستانی استفاده کنیم ، زاویه مایل بودن مطلوب برای آن 64.5° در جهت جنوب است . این زاویه مایل بودن در نقاط اعتدال نیز گرمایش کافی پدید می آورد . اما اگر از این مجموعه برای تهیه آب گرم در تابستان استفاده شود ، زاویه مایل بودن تقریباً 17.5° مؤثر تر است .

نتایج ارائه شده در جدول بر اساس مدلی به دست آمده اند که بسیار ساده شده و صرفاً برای مقایسه به کار می روند . به یک دلیل ، تابش پخشی و تابش باز تابیده از دشت اطراف به طرف رشته را در آنها درج نکرده ایم ، بعلاوه ، شار پیش بینی شده توسط معادله ۱-۲ بازگو کننده این مطلب است که الگوی آفتاب گیری در حوالی ظهر خورشیدی متقارن است . مقادیر آفتاب گیری هنگام صبح و بعد از ظهر معمولاً متفاوت است. در نتیجه پانل های رو به شرق و رو به غرب غالباً مقادیر یکسانی از نور خورشید دریافت نمی کنند.

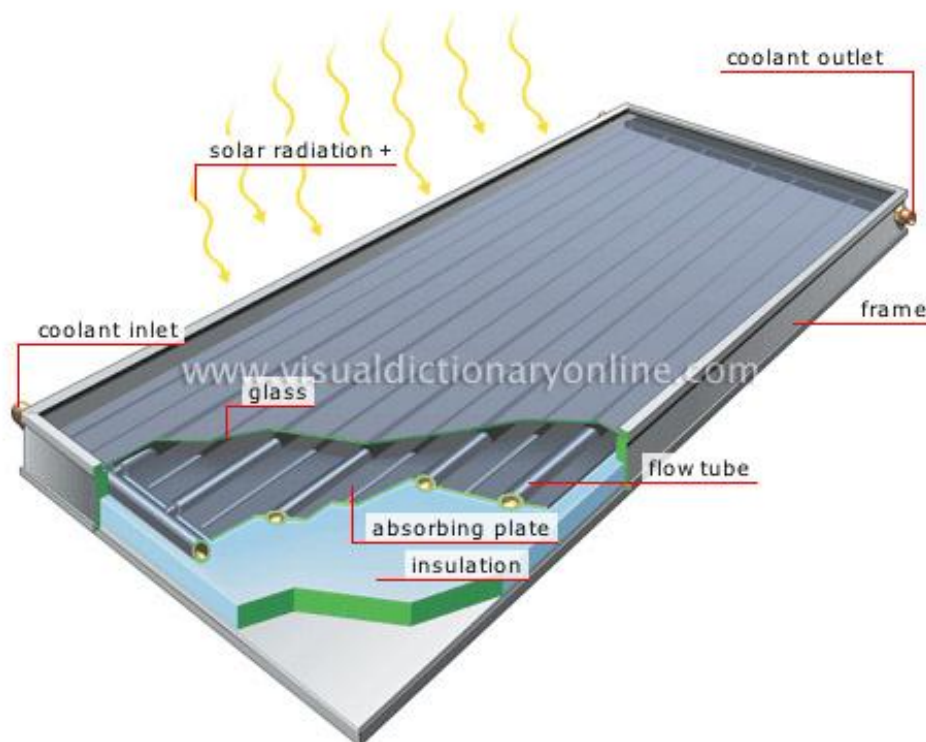
بررسی دقیق تر آن به اطلاعات تجربی نیاز دارد که در آن آفتاب گیری روزانه در سطوح خمیده و شیب دار در نظر گرفته شده باشد.

خروجی ها نیز بطور مشابه به یک لوله تخلیه مشترک متصلند ، گرچه ساخت یک رشته موازی مشکلتر از یک رشته سری است ولی مقاومت آن در مقابل شار سیال کمتر است ، علاوه بر این ، اگر دبی ورودی کل به مجموعه بطور مساوی بین تک تک پانل ها تقسیم شود ، خصوصیات کارکرد رشته را می توان بسهولت از روی خصوصیات یک پانل منفرد به دست آورد افزایش بازده و دمای یک رشته N پانلی موازی مشابه بازده و دمای یک پانل منفرد است ولی دبی و حرارت مفید جمع آوری N برابر خواهد بود . در عمل برای سهولت نصب اغلب از یک رشته مرکب استفاده می شود .

شار بر حسب (kw-hr/m ² -day) (شرق-غرب ، $\psi = \pm 90^\circ$)	شار بر حسب (kw-hr/m ² -day) (جنوب ، $\psi = 0^\circ$)	زاویه مایل بودن ، Δ بر حسب درجه	فصل
1.4	1.4	0 (افقی)	
1.3	2.3	17.5	انقلاب زمستانی (D'=113.5)
1.2	3.2	41	
0.98	3.5	64.5	
0.69	3.3	90 (عمودی)	
4.5	4.5	0 (افقی)	
4.3	5.5	17.5	اعتدال (D'=90)
3.8	6.0	41	
3.0	5.5	64.5	
2.0	3.9	90 (عمودی)	
7.6	7.6	0 (افقی)	
7.3	7.6	17.5	انقلاب تابستانی (D'=66.5)
6.2	6.4	41	
4.7	4.3	64.5	
	1.5	90 (عمودی)	

این نتایج که از معادله ۷-۱ به دست آمده اند در مورد سطوحی صادق اند که در متمم عرض جغرافیایی

$L' = 49^\circ$ هنگامی که ضخامت نوری جوی $\tau = 0.3$ است ، قرار دارند .



شکل ۳ : کلکتور صفحه تخت

هنگامی که یک رشته نصب شد ، کارآیی کل سیستم را می توان به روشی مشابه با آن برای یک پانل منفرد به کار رفته تجزیه و تحلیل کرد . می توان منحنی های بازده یعنی منحنی های η بر حسب $\frac{(T_H - T_0)}{F}$ را برای یک رشته ترسیم کرد . بعلاوه پس از آنکه دبی معلوم شد می توان دمای خروجی را تعیین کرد . اگر از یک کنترل کننده استفاده شود می توان دبی را طوری ترسیم کرد که دمای کار رشته ، مساوی مقدار مورد نظر باشد .

۲-۳ اندازه رشته پانلها

اندازه یک رشته توسط عواملی از قبیل شرایط محیطی ، نیاز به گرمایش ، بازده رشته و میزان آفتاب گیری تعیین می شود . فرض کنید برای مثال ، مقدار نیاز گرمایی روزانه یک خانه در فصل سرد 100kw-hr/day (یا تقریباً $3.4 \times 10^5 \text{ Btu/day}$) و میزان آفتاب گیری در هر روز بر روی مجموعه $4\text{kw-hr/m}^2\text{-day}$ باشد همچنین

فرض کنید مساحت هر پانل ۱/۵ متر مربع ، بازده آنها ۵۰ درصد است و یک سوم گرمایش یا گرم کنه‌های کمکی به دست می آید .

بنابراین ، مقدار گرمایش خورشیدی مورد نیاز 66.70kw-hr/day است . چون بازده رشته ۵۰ درصد است ، مساحت مورد نیاز آن برابر است با :

$$A = \frac{P(\text{روزانه})}{F(\text{روزانه}) \times \eta} = \frac{66.7}{4 \times 0.5} = 33.3 \text{ متر مربع}$$

و چون مساحت هر پانل ۱/۵ متر مربع است ، تعداد پانل های مورد نیاز ۲۲ عدد است .

۳-۳ رشته های سری و موازی

همان طور که در شکل نشان داده شده است ، هر رشته خورشیدی شامل پانل های حرارتی است که بصورت سری ، موازی یا ترکیبی از آن دو مرتب شده اند. دمای تولیدی یک رشته بزرگ نسبت به دمایی که یک جمع کننده منفرد قادر است تولید کند ، بیشتر نیست با وجود این ، رشته ای با تعداد N پانل ، برای جمع آوری N برابر مقدار حرارتی که می توان از یک پانل منفرد کسب کرد دارای قدرت بالقوه است . برای جمع آوری این حرارت ، باید میزان شار سیال اعمال شده به مجمعه N برابر شود . در یک رشته سری ، خروجی یک پانل مستقیماً به ورودی



شکل ۴ : رشته های سری و موازی

پانل بعدی متصل شده است . در نتیجه شار افزایش یافته باید از همه پانلهای یک رشته عبور کند . با افزایش سرعت سیال ، مقاومت آن در مقابل شار افزایش می یابد . علاوه بر این ، هر چه طول کلی لوله که سیال از میان می گذرد بلندتر باشد ، بیشتر می شود . بنابراین یک رشته سری و بلند ، مقاومت زیادی در مقابل جریان سیال انتقال دهنده از خود نشان می دهد . برای جاری نگهداشتن سیال پمپ ها باید فشار زیادی تولید کنند تا فشار در محل ورودی خیلی بیشتر از فشار در محل خروجی سیال باشد . این مسأله در پمپ و پانل های یک رشته ایجاد کرنش می کند . بعلاوه همه پانل های یک رشته سری با بازده یکسانی کار نمی کنند. پانل هایی که به محل ورودی نزدیکترند در دمای کمتری کار می کنند و بنابراین کارآیی بیشتری دارند ، عکس این حالت در پانل هایی که به محل خروجی سیال نزدیکترند صادق است .

در یک رشته موازی ورودی های هر پانل به یک خط تغذیه مشترک متصل به لوله های خروجی که سیالات انتقال دهنده گرم را از یک طرف به طرف دیگر رشته منتقل می کنند بخشی از انرژی حرارتی خود را تلف می کنند و آن را به محیط سردتر اطراف پس می دهند . چون هوای محیط مانند منبع ذخیره حرارت در دمای T_a عمل می کند ، فرآیند انتقال حرارت را می توان با به کار بردن معادله مبدل حرارتی تک جریان (معادله ۱-۳۱) بطور تقریبی به دست آورد . اگر معادله ۱-۳۱ را برای یک لوله خروجی که سیال را در دمای زیادی (مانند T_H) از یک رشته به یک مخزن ذخیره حمل می کند به کار بریم ، در می یابیم که دمای سیال رسیده به مخزن برابر است با

$$T = T_a + (T_H - T_a) \exp(-\bar{U}_L L / \dot{m} C_1) \quad (2-1)$$

که \bar{U}_L ضریب کلی در واحد طول لوله به ازای انتقال حرارت از سیال به هوای محیط بوده و L طول لوله است طبق معادله ۱-۳۲ تلف حرارتی لوله برابر است با :

$$\dot{Q}_{\text{تلف لوله}} = \dot{m} C_1 (T_H - T_a) [1 - \exp(-\bar{U}_L L / \dot{m} C_1)]$$

حاصل ضرب $H' = \bar{U}_L L$ برای لوله های کوتاه و کاملاً عایق شده کم خواهد بود . در این وضعیت در می یابیم که

$T_H \approx T_{\text{ذخیره}}$ ، $T, 0$ تلف لوله \dot{Q} است . تأثیر تلف لوله بر روی مجموعه های کوچک و بزرگ ، در دو مثال بعدی نشان داده شده است .

مثال : در یک پانل حرارتی خورشیدی منفرد از آب ($C_f = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$) به عنوان سیال انتقال دهنده استفاده می شود . دبی آب $m = 0.005 \text{ kg/sec}$ ، دمای ورودی پانل 20 درجه سانتیگراد و دمای خروجی آن 50 درجه سانتیگراد است . سیال توسط یک لوله خارجی به طول 10 متر با ضریب انتقال حرارتی $\bar{U}_1 = 0.2 \text{ W/n } ^\circ\text{C}$ است . دمای آب هنگام ورود به مخزن ذخیره و درصد حرارت تولید شده توسط پانل که در لوله تلف می شود را به دست آورید .

$$Q = mC_1(T_H - T_C) = (0.005)(4186)(50 - 20) = 628 \text{ W}$$

با استفاده از معادله ۱-۲ در می یابیم که دما در محل منبع ذخیره عبارت است از :

$$T_{\text{حرارتی}} = T_a + (T_H - T_a) \exp(-\bar{U}_1 L / \dot{m} C_1) \quad (2-1)$$

که \bar{U}_1 ضریب کلی در واحد طول لوله به ازای انتقال حرارت از سیال به هوای محیط بوده و L طول لوله است . طبق معادله ۱-۳ تلف حرارتی لوله برابر است با :

$$\dot{Q}_{\text{تلف لوله}} = \dot{m} C_1 (T_H - T_a) (1 - \exp(-\bar{U}_1 L / \dot{m} C_1)) \quad (3-1)$$

حاصل ضرب $H' = \bar{U}_1 L$ برای لوله های کوتاه و کاملاً عایق شده کم خواهد بود . در این وضعیت در می یابیم که $T_H \approx T_{\text{ذخیره}}$ است . تأثیر تلف لوله بر روی مجموعه های کوچک و بزرگ ، در دو مثال بعدی نشان داده شده است .

مثال : در یک پانل حرارتی خورشیدی منفرد از آب ($C_f = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$) به عنوان سیال انتقال دهنده استفاده می شود . دبی آب $m = 0.005 \text{ kg/sec}$ دمای ورودی پانل 20 درجه سانتیگراد و دمای خروجی آن 50 درجه سانتیگراد است . سیال توسط یک لوله خارجی به طول 10 متر با ضریب انتقال حرارتی کلی $^\circ\text{C}$

$\bar{U}_L = 0.2 \text{ W/m}$ بر واحد طول به مخزن ذخیره حمل می شود. دمای محیط $T_a = 15^\circ \text{C}$ است دمای آب

هنگام ورود به مخزن ذخیره و درصد حرارت تولید شده توسط پانل که در لوله تلف می شود را به دست آورید.

$$Q = \dot{m} C_1 (T_H - T_C) (0.005) (4186) (50 - 20) = 628 \text{ w}$$

با استفاده از معادله ۱-۲ در می یابیم که دما در محل منبع ذخیره عبارت است از:

$$T_{\text{ذخیره}} = 15 + (50 - 15) \exp[-(0.2)(10)/(0.005)(4186)] = 46.8$$

بر طبق معادله ۲-۳ تلف لوله عبارت است از:

$$\text{تلف} = (0.005)(4186)(50 - 15) \{1 - \exp[-(0.2)(10)/(0.005)(4186)]\} = 67 \text{ w}$$

لوله Q

و درصد تلف برابر است با:

$$\frac{67}{628} \approx 11\%$$

مثال: یک رشته موازی با ۱۰ پانل را در نظر بگیرید که هر کدام از آنها مشابه پانل مثال قبل کار می کنند آهنگ جمع آوری، دمای سیال به هنگام ورود به منبع ذخیره و درصد تلف لوله را به دست آورید.

دبی ۱۰ برابر شده و به $m = 0.05 \text{ kg/sec}$ رسیده است. با این فرض که دمای ورودی و خروجی سیال به ترتیب در ۲۰ درجه و ۵۰ درجه سانتیگراد ثابت بماند آهنگ جمع آوری حرارت ۱۰ برابر شده و به $Q_c = 6280 \text{ w}$ می رسد. با استفاده از معادلات ۲-۲ و ۳-۲ در می یابیم که:

$$= 15 + (50 - 15) \exp[-(0.2)(10)/(0.05)(4186)] = 49.7^\circ \text{C}$$

ذخیره T

و:

$$\text{تلف} = (0.05)(4186)(50 - 15) \{1 - \exp[-(0.2)(10)/(0.05)(4186)]\} = 70 \text{ w}$$

لوله q

درصد تلف در این صورت برابر است با :

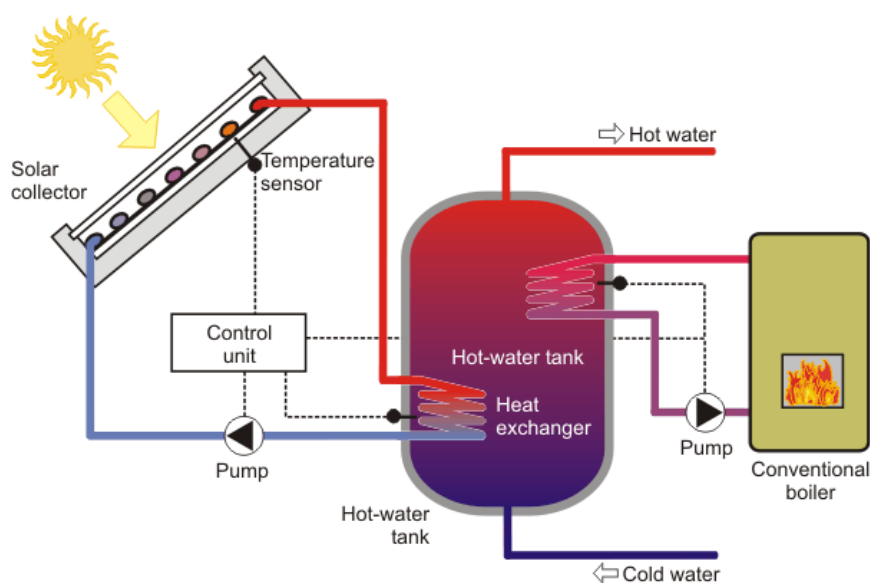
$$\frac{70}{6280} \approx 1.1\%$$

با توجه به مثال های قبل می بینیم که تلفات لوله در رشته های بزرگ کسر کوچکتری از حرارت جمع آوری شده را نسبت به رشته های کوچک دارند از این رو هر چه رشته کوچکتر باشد ، لازم است لوله ها خارجی آن کوتاه تر باشند و عایق کاملتری داشته باشند .

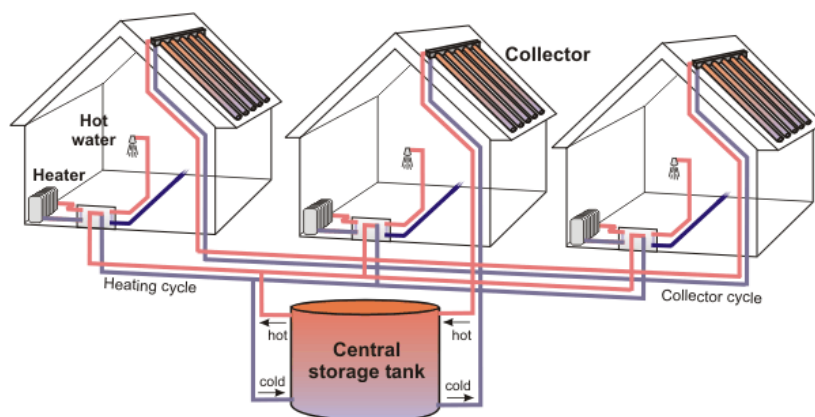
۳-۴ مبدل های حرارتی

استفاده اساسی از گرمایش خورشیدی تهیه آب داغ است . آب شیری را که با یک رشته از پیل های خورشیدی داغ می شود می توان بطور مستقیم مصرف کرد یا در صورتی که به دماهای بالاتری نیاز باشد ، می توان آن را با یک گرم کن کمکی بیشتر گرم کرد با وجود این ، در بسیاری از کاربردها لازم است حرارت را از یک سیال انتقال دهنده که توسط خورشید گرم می شود به یک منبع آب سرد منتقل کرد . برای مثال ، سیال انتقال دهنده می تواند آب باشد که برای جلوگیری از یخ زدن و خورده شدن مجموعه به آن ضد یخ اضافه شده باشد . سیال انتقال دهنده در یک مدار (سیکل) بسته جریان دارد و حرارت از طریق یک مبدل حرارتی با جریان مختلف به لوله متصل به شیر منتقل می شود.

همچنین می توان حرارت را از طریق یک مبدل تک جریانی به مخزن ذخیره آب منتقل کرد.



شکل ۵ : شماتیک فرآیند انتقال آب

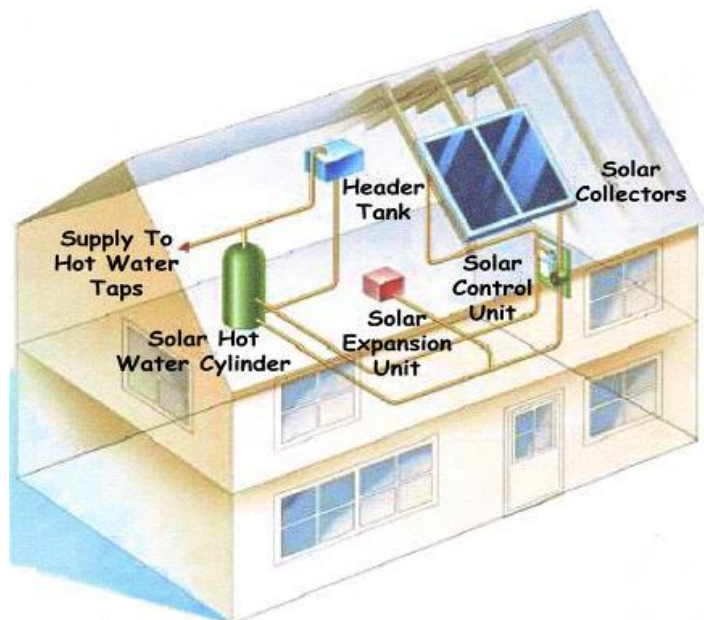


شکل ۶ : مجموعه کلکتورها با مخزن مشترک

الف) یک سیستم مدار باز که در آن شیر نخست تا اندازه ای توسط انرژی خورشیدی گرم شده و سپس توسط یک گرم کم کمکی داغ می شود.

ب) یک سیستم مدار بسته که در آن حرارت از یک سیال انتقال دهنده که توسط نور خورشید داغ شده است به آبی با جریان مخالف منتقل میشود.

(ج) یک سیستم مدار بسته که در آن حرارت توسط مبدل تک جریانی به مخزن ذخیره با منتقل می شود.



شکل ۷: محل قرارگیری اجزای مختلف

همان طول که در فصل اول نشان داده شد آهنگ انتقال حرارت از سیالی گرمتر به سیالی سردتر در یک مبدل حرارتی با جریان مخالف عبارت است از :

$$Q = \bar{U}_L A \quad (4-2)$$

که در آن \bar{U}_L ضریب انتقال حرارت و L طول مبدل است. لگاریتم اختلاف درجه حرارت متوسط بین سیال های داغ و سرد برابر است با :

$$A = \frac{(T_H - T'_H) - (T_C - T'_C)}{\ln[(T_H - T'_H)/(T_C - T'_C)]} \quad (5-7)$$

که T_C , T_H دماهای داغ (ورودی) و سرد (خروجی) سیال اولیه (که با نور خورشید گرم شده) و T'_C , T'_H دماهای گرم (خروجی) و سرد (ورودی) سیال ثانوی (مثلاً آب) هستند. آهنگ انتقال حرارت با رابطه زیر :

$$Q = m_1 C_1 (T_H - T_C)$$

یا به طور معادل با رابطه زیر بیان می شود :

$$Q = m_1 C_1 (T'_H - T'_C)$$

مثال : یک رشته کوچک خورشیدی را برای گرم کردن آب شیر در یک مبدل حرارتی با جریان مخالف به کار می بریم . سیال انتقال دهنده اولیه ($C_1 = 3700 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$) با دبی $0.015 \text{ kg/sec} (\sim 15 \text{ gal/hr})$ در جریان است . سیال مذکور در دمای 60° F درجه سانتیگراد (140° F) به مبدل وارد و در 25° F درجه سانتیگراد (77° F) از آن خارج می شود آب شیر ($C' = 4186 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$) با دبی $0.016 \text{ kg/sec} (\sim 15 \text{ gal/hr})$ جریان دارد و با دمای 10° F درجه سانتیگراد (50° F) به مبدل وارد می شود . ضریب انتقال مبدل $\bar{U}_L = 20 \text{ W/m} \cdot ^\circ \text{C}$ است .

آهنگ انتقال حرارت سیستم ، دمای آب به هنگام خروج از مبدل و طول مبدل مورد نیاز را به دست آورید .

با استفاده از معادله ۶-۷ آهنگ اخذ حرارت از سیال اولیه و مقدار حرارت منتقل شده به آب شیر عبارت است از :

$$Q = (0.015)(3700)(60 - 25) = 1943 \text{ w} = 1.943 \text{ kw}$$

دمای خروجی آب از رابطه زیر بدست می آید :

$$1943 = (0.016)(4186)(T'_H - 10)$$

در نتیجه :

$$T'_H = 39^\circ \text{ C} (120^\circ \text{ F})$$

با استفاده از معادله ۵-۷ در می یابیم که :

$$A = \frac{(60 - 39) - (25 - 10)}{\text{Ln} \frac{(60 - 39)}{(25 - 10)}} = 17.8 \text{ H}^\circ \text{C}$$

پس از جایگزین کردن این مقدار در معادله ۴-۷ به دست می آوریم که :

$$L = \frac{Q}{\bar{U}_L A} = \frac{1943}{(20)(17.8)} = 5.4 \text{ m}$$

این مثال نشان می دهد که محصول نهایی یعنی آب گرم شده شیر ، به گرمی سیال انتقال دهنده ای نیست که با نور خورشید گرم می شود $T'_H > T_H$ ، در نتیجه ، حرارت تولید شده توسط رشته پانلها تا حدی توسط مبدل کاسته می شود . از سوی دیگر ، وقتی سیال انتقال دهنده مجدداً به رشته وارد می شود دمای آن بالاتر از دمای آب شیری است که مستقیماً گرم شده است $(T'_C > T_C)$

همچنین می توان حرارت خورشیدی به دست آمده از رشته را با استفاده از یک مبدل حرارتی تک جریانی در مخزن بزرگی ذخیره کرد . سیال انتقال دهنده از یک مبدل حرارتی می گذرد که خود در یک محیط ذخیره با دمای T_B غوطه ور است . اگر دمای سیال ورودی T_H و دبی آن m_1 باشد با دمای :

$$T_C = T_B + (T_H - T_B) \exp(-\bar{U}_L L / m_1 C_1) \quad (7-7)$$

خارج می شود و با آهنگ :

$$Q_{\text{ذخیره}} = m_1 C_1 (T_H - T_B) [1 - \exp(-\bar{U}_L L / m_1 C_1)] \quad (8-7)$$

در محیط ذخیره می شود :

مثال : یک سیال انتقال دهنده $(C_1 = 3500 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})$ در دمای $T_H = 60^\circ\text{C}$ با دبی $m_1 = 0.01 \text{ kg/sec}$ به یک مبدل حرارتی تک جریانی که در مخزن بسیار بزرگی غوطه ور است وارد می شود . اگر دمای آب مخزن 50°C سانتیگراد و \bar{U}_L باشد ، آهنگ ذخیره شدن حرارت در آب و نیز دمای سیال را به هنگام خروج از ذخیره کننده تعیین کنید .
با استفاده از معادله های ۲-۸ و ۲-۷ داریم :

$$Q_{\text{ذخیره}} = (0.01)(3500)(60-50) \{1 - \exp[-(50)/(0.01)(3500)]\} = 266 \text{ W}$$

و :

$$T_C = 50 + (60-50) \exp[-(50)/(0.01)(3500)] = 52^\circ\text{C}$$

حداکثر آهنگ انتقال ممکن به ذخیره کننده با $(T_H - T_B)$ متناسب است ، و این نشان می دهد که با زیاد شدن

$\bar{U}_L L$ و $(T_H - T_B)$ بازده انتقال حرارت به محیط ذخیره بیشتر می شود .

در واقع ، وقتی $\bar{U}_L L$ به سوی ∞ میل می کند (یعنی یک مبدل ایده آل) آهنگ انتقال حرارت به ذخیره کننده مساوی :

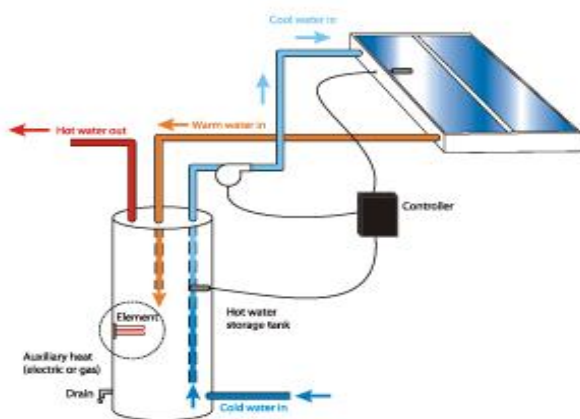
$$Q_{\text{ذخیره}} = m_1 C_1 (T_H - T_B)$$

و دمای سیال به هنگام خروج معادل :

$$T_C = T_B$$

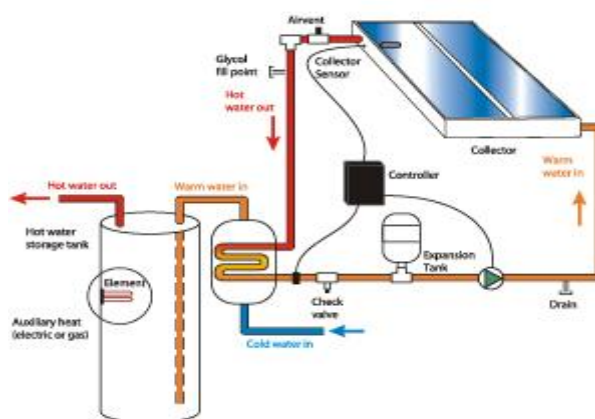
خواهد بود اگر دمای محیط ذخیره بتدریج در اثر ذخیره کردن حرارت افزایش یابد ، تأثیر فرآیند انتقال کمتر می شود. مبدل ها می توانند بین دو مایع یا بین یک مایع و هوا حرارت مبادله کنند . برای مثال ، در سیستمهایی که فضا را از طریق دمیدن هوا گرم می کنند حرارت را می توان از دو طریق به جریان هوای دمیده منتقل کرد . نخست از طریق مایع درون مخزن ذخیره حرارتی و دوم از طریق جریان مخالف یک مایع انتقال که توسط نور خورشید داغ شده است . هر چه دمای بیشتری گرم و سیال انتقال دهنده به نحو موثرتری سرد می شود. حرارت در یک مدار بسته از مایع به جریان هوا منتقل می شود . یک گرم کن کمکی دمای هوا را به مقدار مطلوب می رساند .

Active Open Loop System



شکل ۹ : سیستم مدار باز

Active Indirect System



شکل ۸ : سیستم غیرمستقیم

۳-۵ ذخیره سازی

در یک سیستم گرمایش خورشیدی، معمولاً تدابیری برای ذخیره سازی حرارت اتخاذ می شود انرژی اخذ شده در خلال زمانهایی که تابش نور خورشید شدید است را می توان ذخیره کرد و در زمانهایی که خورشید پنهان است به کار برد. هنگامی که حرارت در یک واسطه ذخیره شده. انرژی واسطه افزایش می یابد. این افزایش می تواند به شکل انرژی جنبشی مولکولی باشد که در آن دمای واسطه زیاد خواهد شد. البته، این افزایش به شکل انرژی پتانسیل نیز می تواند باشد ولی در این حالت ساختار مولکولی تغییر می کند مثل یک تغییر شیمیایی یا یک تغییر فاز (مثل ذوب یا تبخیر شدن).

هنگامی که حرارت افزوده شده فقط موجب افزایش دما در محیط شود، می گوئیم که انرژی حرارتی بصورت حرارت ملموس ذخیره می شود. تا زمانی که هیچ تغییر فازی وجود نداشته باشد، افزایش دما با حرارت ذخیره شده تقریباً متناسب و با جرم، نسبت عکس دارد و تغییر دما را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\Delta T = Q_s / m_s C_s \quad (10-2) \text{ (ذخیره حرارت ملموس)}$$

که Q_s حرارت ذخیره شده ، m_s, C_s به ترتیب گرمای ویژه و جرم واسطه ذخیره کننده هستند هنگامی که حرارت ملموس از محیط اخذ شود ، دما بر طبق معادله ۲-۹ تنزل می یابد یک پارامتر مهم در سیستم ذخیره سازی حرارتی حرارت ذخیره شده در واحد حجم است . برای ذخیره سازی حرارت ملموس می توان معادله ۲-۹ را به شکل زیر نوشت :

$$\frac{Q_s}{V_s} = \frac{m_s}{V_s} C_s \Delta T = \rho_s C_s \Delta T \quad (10-2)$$

مثال : حرارت ملموس ذخیره شده در واحد حجم را برای آب و برای الکل میتلیک هنگامی که دمای محیط به اندازه ۱۰ درصد افزایش یابد ، به دست آورید .

برای آب : ($\rho_s = 1000 \text{kg/m}^3, C_s = 4186 \text{J/kg} \text{ } ^\circ \text{C}$)

برای الکل : ($\rho_s = 810 \text{kg/m}^3, C_s = 2512 \text{J/kg} \text{ } ^\circ \text{C}$)

با استفاده از معادله ۲-۱۰ داریم :

$$\begin{aligned} \frac{Q_s}{V_s} &= (1000)(4186)(10) = 4.186 \times 10^7 \text{ J/m}^3 \\ &= 11.6 \text{kw-hr/m}^3 \end{aligned}$$

و :

$$\frac{Q_s}{V_s} = (810)(2512)(10) = 2.03 \times 10^7 \text{ J/m}^2$$

در بعضی کاربردها مطلوب است که تغییر دمای محیط ذخیره کننده را حداقل نگه داریم . بر طبق معادله ۲-۹ می توان این تغییر را با افزایش جرم محیط ذخیره کننده کاهش داد . لیکن راه موثرتری برای ثابت کردن دما استفاده از گرمای نهان به جای ذخیره کردن حرارت ملموس است ، هنگامی که به یک جامد حرارت دهیم ، دمای آن شروع به افزایش می کند تا به دمای ذوب T_m برسد . وقتی به آن حرارت بیشتری بدهیم . دمای آن دو T_m ثابت باقی می ماند . ولی دستخوش تغییر فاز شده و به مایع تبدیل می شود و تا وقتی عمل ذوب کامل نشده باشد ، دما

افزایش نمی یابد حرارتی که در واحد جرم توسط محیط ذوب شده و در خلال تغییر فاز ذخیره می شود، گرمای نهان ۱ نامیده می شود. گرمای نهان ذخیره شده در واحد حجم عبارت است از:

$$\frac{Q_s}{V_s} = \rho_s l \quad (\text{گرمای نهان}) \quad (11-2)$$

فصل چهارم

کلکتورهای خورشیدی

۴-۱ انواع کلکتورها

کلکتورها عموماً به دو دسته : ثابت و متحرک (پیگرد خورشیدی) تقسیم بندی می شوند و وظایفی از قبیل گرمایش و سرمایش خانه ها - صنایع برودتی - گرم کننده در فرآیندهای صنعتی - نمک زدایی - سیستم های قدرت حرارتی خورشیدی و خشک کردن بعضی از محصولات را بر عهده دارند .

کلکتورهای ثابت به سه دسته : صفحه ای تخت ، سهموی شکل و لوله ای خلاء شده ، تقسیم بندی می شوند و کلکتورهای متحرک (پیگرد خورشیدی) نیز که دارای یک محور یا دو محور چرخان بوده به شش دسته : سهموی شکل ، بازتابنده های خطی ، آبشخور های سهموی ، آبشخور های استوانه ای بازتابنده های بشقابی سهموی و میدان های بازتابنده متمرکز کننده (مانند رسیورها) تقسیم بندی می شوند.



شکل ۱ : کلکتورهای ثابت

۴-۲ جمع آوری حرارت خورشیدی بوسیله کلکتورهای صفحه تخت

اتلافات مربوط به تابش خورشیدی که در بخشهای پیش ارائه گردید می تواند برای محاسبه مقدار انرژی خورشیدی قابل دسترس در مکانهای مختلف در روزها و ساعتهای دلخواه برای متمرکز کننده ها (که فقط پرتوهای مستقیم را جمع آوری می کنند) مورد استفاده قرار گیرد.

ماده شفاف : که ممکن است با یک لایه و یا بیشتر باشد .

لوله ها : فین ها و یا گذرگاههایی برای هدایت سیال منتقل کننده حرارت از داخل به خارج

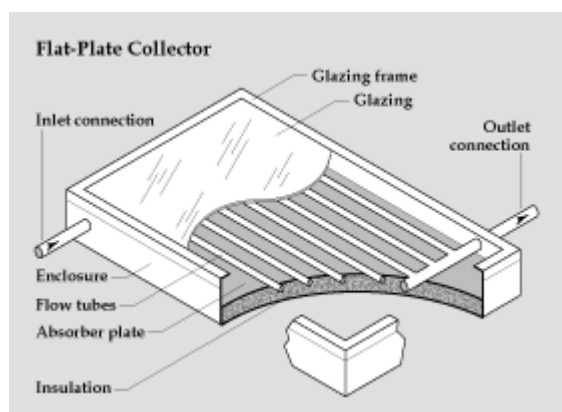
صفحه جاذب : که می تواند صاف ، موجدار ، شیاردار باشد که لوله ها فین ها و یا گذرگاهها به آن وصل می شوند .

عایق بندی هایی برای کاهش اتلاف حرارت از پشت و اطراف کلکتور و پوشش مخصوصی در اطراف اجزاء ذکر شده

در بالا قرار دارد تا آنها را از غبار و رطوبت و دیگر عوامل مشابه مراقبت کند .

کلکتور های صفحه ای تخت در طرح های مختلف و با مولد و مختلف زیادی ساخته شده اند و از آنها برای گرم

نمودن سیالهایی مانند آب ، محلول آب و یک ماده ضد یخ یا گازهایی شبیه هوا استفاده گشته است.



شکل ۲ : کلکتور صفحه ای تخت که از انواع ثابت می باشد

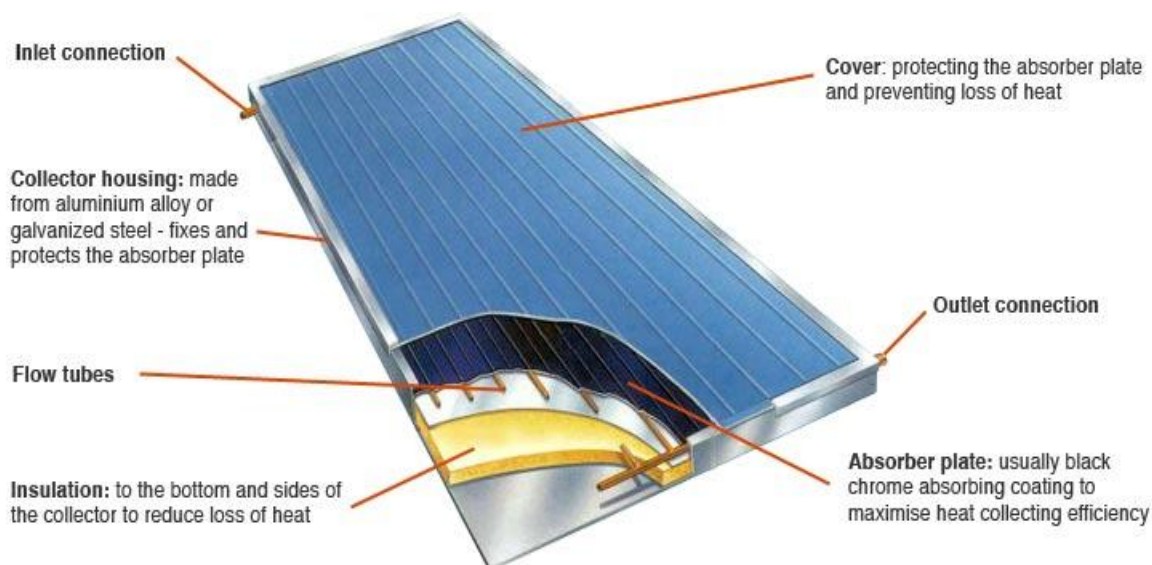
مهمترین عامل در ساخت این کلکتورها جمع آوری هر چه بیشتر انرژی خورشید با کم ترین هزینه ممکن می

باشد.

یک کلکتور می بایست دارای عمر مؤثر زیادی علیرغم تأثیرات مضر امواج ماورا بنفش ، خوردگی بعلت اسیدی ای

قلیایی و یا سخت بودن سیال عامل ، منجمد شدن آب و یا گرفتگی هوا در گذرگاههای آب، وجود غبار یا رطوبت

در طرف هوا ، شکستگی ماده شفاف (شیشه) در اثر انبساط ، طوفان و تگرگ ، خرابی یا عوامل دیگر باشد .



شکل ۳: اجزای کلکتور صفحه تخت

۳-۴ مواد شفاف

شیشه بطور وسیعی در کلکتورهای خورشیدی مورد استفاده قرار می گیرد و علت این امر این است که می تواند در حدود ۹٪ از پرتوهای طول موج را از خود عبور داده در حالیکه هیچ یک از پرتوهای با طول موج بلندی را که از صفحه جاذب ساطع می شود را عبور ندهد.

شیشه با میزان آهن کمی که دارد دارای ضریب نسبتاً زیادی تقریباً ۰/۵۸ الی ۰/۹ است در حالیکه در مقابل پرتوهای حرارتی با طول موج بلند ۰/۵ الی ۵μm که از سطوح گرم شده به وسیله خورشید به آن می رسد ضریب عبور صفر را دارا می باشد.

ورقه های پلاستیکی همچنین دارای ضریب نسبتاً زیادی در مقابل پرتوهای طول موج کوتاه می باشد ولی بعلاوه اینکه اکثراً انواع قابل استفاده در طیفهای حرارتی متوسط دارای ضریب عبور متوسط می باشد. ممکن است دارای ضریب عبور طول موج بلند ۰/۴ باشند که خود عاملی برای اتلاف حرارتی می باشد. پلاستیک ها همچنین در درجه حرارت های محدودی که بتوانند در مقابل خرابی و تغییرات ابعادی مقاومت کنند بکار می روند و فقط تعداد کمی از آنها هستند که می توانند در مقابل امواج ماورا بنفش برای مدت زیادی مقاومت نمایند. آنها دارای مزایایی

از قبیل مقاومت در مقابل شکستگی بر اثر طوفان ، تگرگ یا سنگ می باشند و در صورتیکه به شکل ورقه های نازک در آیند کاملاً انعطاف پذیر و خیلی سبک می باشند .

شیشه هایی که بطور کلی در کلکتورهای خورشیدی بکار می روند در دو نوع :

۱- یک مقاومتی (2/54 mm الی 2/16)

۲- دو مقاومتی Double strnght (3/38 الی 2/92)

شیشه های تجارتي پنجره و گلخانه دارای ضریب عبوری در حدود ۰/۸۵ الی ۰/۸۷ در برخورد مستقیم و رو به خورشید می باشند . در این رابطه برای تابش مستقیم ضریب عبور مشخصا با زاویه برخورد تغییر می کند جدول (۲-۳) مقدار ضریب عبور را برای شیشه های مختلف در زوایای برخورد 90° الی 0° نشان می دهد.

۴ درصد انعکاس از هر شیشه در مجاورت هوا از مهمترین عوامل کاهش ضریب عبور می باشد در حالیکه توان ۳٪ از کاهش ضریب عبور را با استفاده از شیشه های مات جبران نمود .

روکش های ضد انعکاس نیز می تواند مقدار ضریب عبور را بهبود بخشد . اثر کثیفی و غبار روی سطح شیشه ای کلکتورها بسیار ناچیز است و تمیز نمودن گاه به گاه باران برای ثابت نگهداشتن ضریب عبور با تغییرات ۲ الی ۴٪ از مقدار ماکزیمم خود کافی است.

نقش شفافیت بصورتی است که تا حد امکان اجازه عبور پرتوهای خورشیدی را داده و نیز باعث کاهش اتلاف حرارتی به میزان قابل توجهی می گردد .

شیشه اگر چه ذاتاً در مقابل پرتوهای طول موج بلندی که توسط صفحه کلکتور ساطع می شود مات می باشد ولی جذب این پرتوها سبب بالا رفتن درجه حرارت شیشه گشته و بنابراین عاملی برای از دست دادن حرارت از طریق جابجایی به محیط اطراف می باشد . این نوع اتلاف حرارت را می توان با استفاده از اندود انعکاسی مادون قرمز در طرف دیگر شیشه کاهش داد ولی چنین اندودی گران قیمت بوده و نیز باعث ضریب عبور مؤثر خورشیدی شیشه به میزان ۱۰٪ می گردد علاوه بر ایجاد تله حرارتی توسط قبول عبور دهی پرتوهای خورشیدی با طول موج کوتاه و

ممانعت از خروج پرتوهایی با طول موج بلند می توان به وسیله مواد شفاف باعث کاهش اتلاف حرارتی بوسیله جابجایی گردید .

اثر عایق بندی مواد شفاف را می توان با استفاده از چندین ورقه شیشه و یا شیشه به اضافه پلاستیک عامل مهمی برای کاهش انتقال حرارت به محیط دانست.

حرارت تلف شده کل کلکتور به سمت بالا را می توان بوسیله رابطه زیر بیان نمود.

Q_{up} مشخص کننده حرارت اتلاfi از سمت فوقانی صفحه جاذب با مساحت A می باشد.

$$U_{up} \text{ ضریب انتقال حرارت روبه بالا بوده } \frac{W}{m^2}$$

T_p درجه حرارت های صفحه جاذب و محیط اطراف می باشد.

مقادیری برای محاسبه U_{up} برای ترکیبات مختلفی از شیشه و پلاستیکی در شکل معرفی میگردد.

استفاده از این معادلات احتیاج به فرضیات اولیه نسبت به درجه حرارت هریک از صفحات با کمی تجربه دارد.

اتلاف حرارتی اطراف کلکتور در کلکتورهای خورشیدی کوچک هنگامیکه نسبت پیرامون به مساحت کلکتور زیاد می باشد اهمیت پیدا می کند. مینیمم ضخامت عایق بندی کناره های کلکتور 25 میلیمتر سفارش شده و عموماً

حداقل نصب ضخامت عایق بندی پشت کلکتور میباشد.

محاسبه اتلاف حرارتی کنار کلکتور بعلت شکل خاص هندسی آن دارای مراحل پیچیده ای میباشد.

مقدار ضریب اتلاف حرارتی بستگی به مساحت کناره کلکتور برابر است با $0/45W/M^{20}C$

$$Q_{edge} = 0.45 (DP)(T_p - T_{at}) \quad (2-3)$$

D : عمق محفظه کلکتور (m)

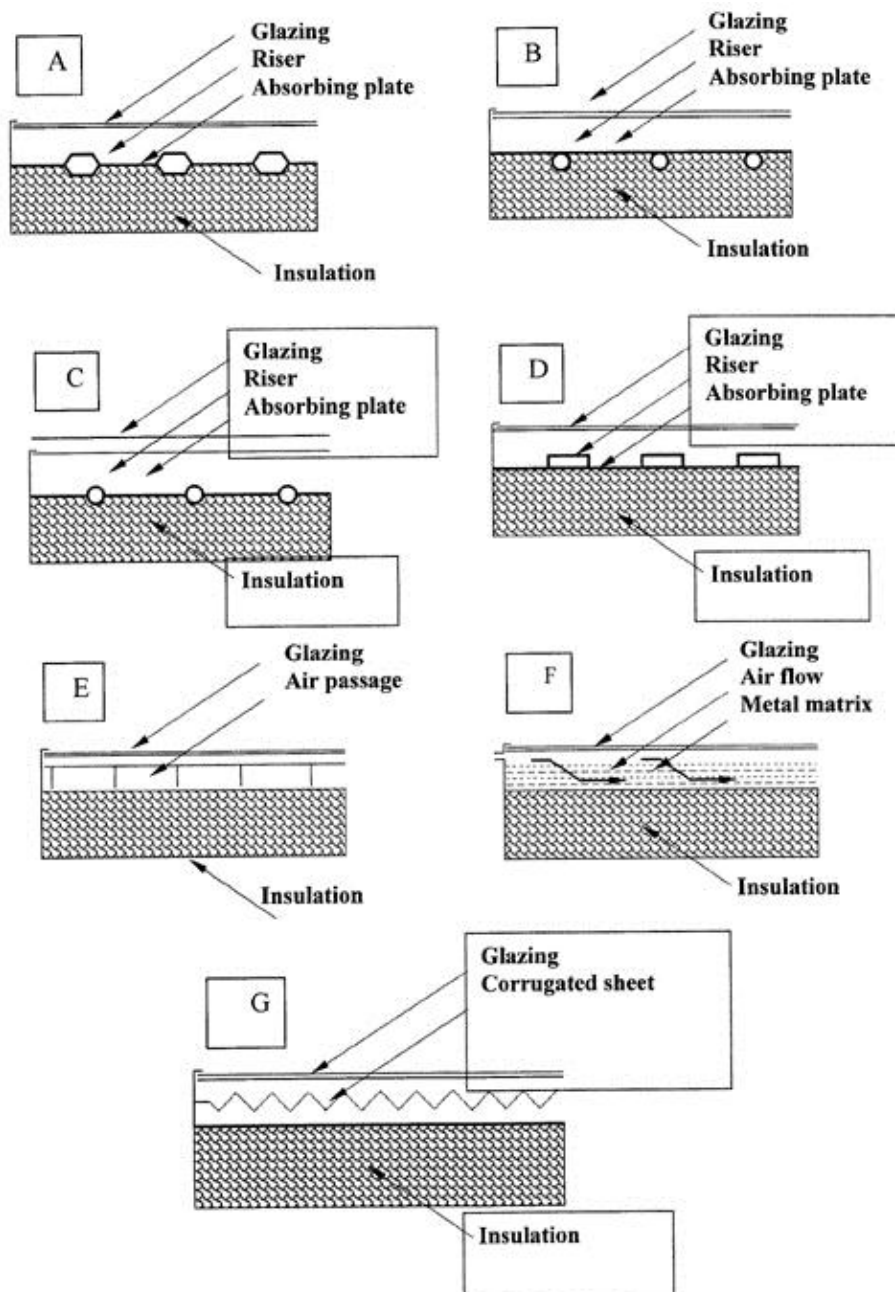
P : پیرامون کلکتور (m)

ضرایب کلی کلکتور بصورت زیر محاسبه می گردد. $U_1 = U_{up} + U_{rear} + U_{edge} + (AP/AC)$

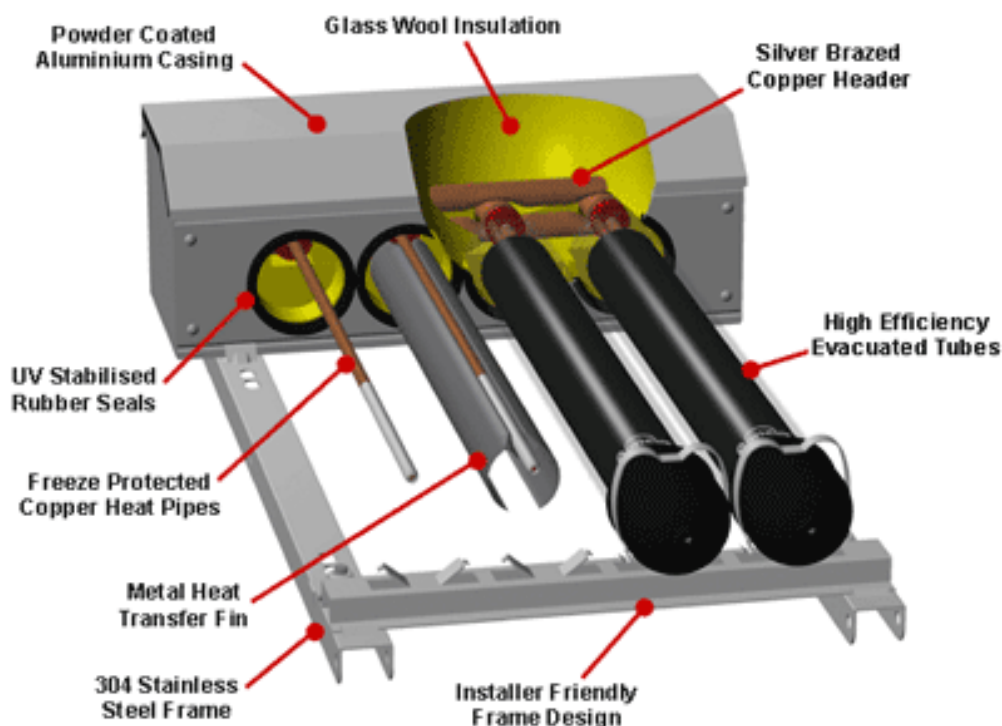
U_{rear} : ضریب انتقال حرارت پشت کلکتور

AC: مساحت صفحه جاذب

AP: مساحت پیرامون کلکتور



شکل ۴: مقاطع طرحهای مختلفی از کلکتورهای تخت خورشیدی برای گرم کردن آب



شکل ۵: برش خورده کلکتور

شکل (3-3-A) نشان دهنده طرحی است که لوله ها بصورت یکپارچه با صفحه جاذب بوده وسایل عامل در این گذرگاهها گذر می نماید لذا تماس حرارتی خوبی بین فلز و سیال برقرار می باشند.

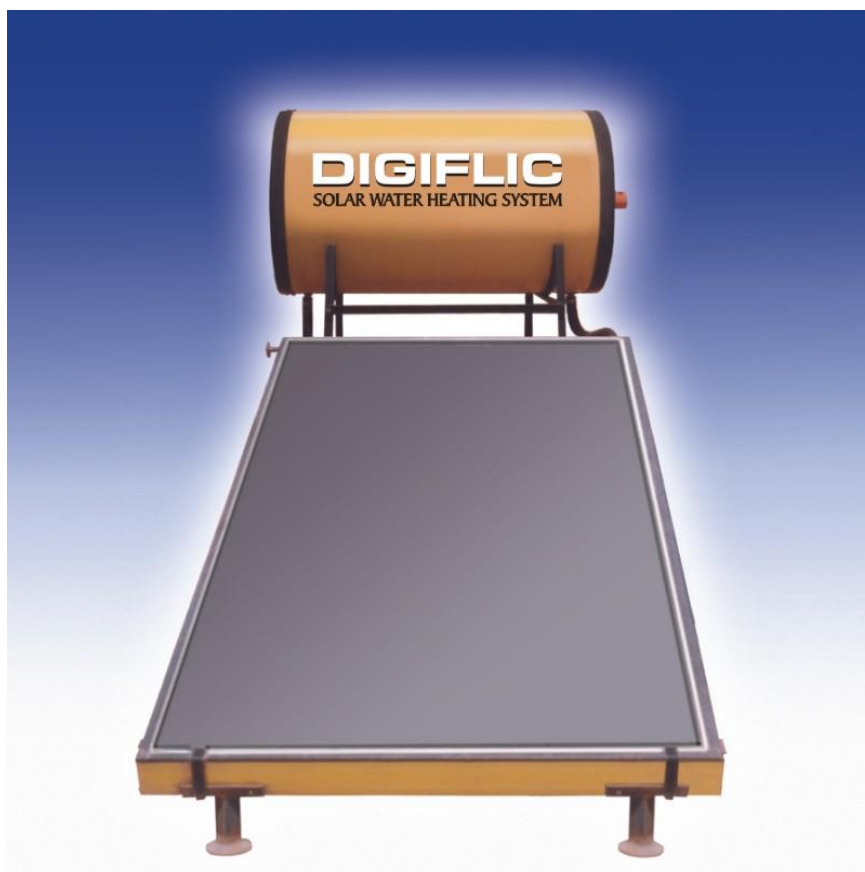
شکل (3-3-B) و (3-3-C) نشان دهنده گرم کننده های مایع می باشند که لوله های عبور سیال از طریق جوشکاری ، لحیم کاری و یا انواع اتصالات دیگر به سطح فوقانی و یا تحتانی متصل گشته است.

شکل (3-3-D) استفاده از لوله های مستطیلی را برای بدست آوردن سطح تعادل حرارتی بیشتری بین لوله و صفحه می توان بکار برد و از جوش نرم برای اتصالات باید پرهیز نمود و علت آن بالا بودن درجه حرارت صفحه در شرایط سکون می باشد .

شکل (3-3-E) نشان دهنده کلکتورهای با شیشه دو لایه و لوله های ورقه ای مسی می باشد . در حالیکه شکل (3-3-F) استفاده از ورقه های نازک فلزی را نشان می دهد که لبه های آن در جهت طول به منظور درزگیری

جوش خطی خورده و در ورودی ها به منظور ایجاد گذرگاههای و جلوگیری از انبساط از جوش نقطه ای استفاده می کنند.

شکل (3-3-G) استفاده از ورقه های موجدار برای بالا بردن سطح انتقال حرارت و افزایش بازده را نشان می دهد.



شکل ۶ : کلکتور عایق بندی شده

در صورتیکه عایق بندی کلکتور خوب باشد ضریب کلی اتلاقی حرارتی کلکتور فقط 10 الی 20 درصد بیشتر از ضریب انتقال حرارت رو به بالا U_{up} می باشد .

در صورتیکه تمام سطح کلکتور در تماس با سیال عامل باشد ضریب هدایت حرارتی ماده اهمیتی ندارد ویلیر در مطالعاتش در زمینه ضریب هدایت اتصالات نتیجه گرفت اگر ضریب هدایت بین لوله و صفحه خوب باشد لوله های استیل نسبت به حسی مؤثر تر می باشند .

مقدار ضریب هدایت بین لوله و صفحه و می تواند حداکثر 5600 w/m^2 برای جوشکاری یا لحیم کاری خوب لوله به صفحه) و حداقل ۱۷ (برای یک اتصال ضعیف گیره ای یا یک جوشکاری بد) باشد . صفحات مسی ، آلومینیومی و یا استیل‌های ضد زنگ که گذرگاهها از آنها تعبیه می شوند از دسته صفحات قابل دسترسی می باشند که بیشترین راندمان را دارند .

امروزه از میان انواع لوله های مسی ، آلومینیومی و فولادی تمایل به استفاده از لوله مسی بعلت مقاومت عالی آن در مقابل گورژن بیشتر می باشد .

چسبهای حرارتی ، گیره ها ، سیم های پیچیده جزو اسبابی می باشند که به منظور کاهش قیمت در ساخت برای اتصال گذرگاههای مورد آزمایش قرار گرفته اند .

فشارهای مکانیکی ، چسب های حرارتی با لحیم کاری را برای ساخت مجموعه می توان بکار برد و از جوش نرم برای اتصالات باید پرهیز نمود و علت آن بالا بودن درجه حرارت صفحه در شرایط سکون می باشد .

۴-۴ کلکتورهای متمرکز کننده

برای رسیدن به درجه حرارتهای بیشتر از حد توانایی کلکتورهای تخت می توان با متمرکز نمودن پرتوهای خورشیدی به سطح کوچکتتری عمل نمود .

استفاده از منعکس کننده های تخت که می توانند مقدار پرتوهای مستقیم تابیده به سطح کلکتور تخت را افزایش دهند .

این عقیده یک قرن پیش بوسیله shuman برای افزایش کارایی تولید کننده بخار مورد اجراء قرار گرفت و امروزه برای رسیدن به دماهای مورد نیاز در پختن مواد از این طرح در اجاقهای خورشیدی استفاده می گردد . بعلت حرکت آشکار خورشید در آسمان کلکتورهای خورشیدی می بایست قادر به دنبال نمودن خورشید در مدت حرکت روزانه اش باشد .

در روش برای دنبال نمودن حرکت خورشید وجود دارد یکی از این روشها متد آلتاژ یموت می باشد که احتیاج به وسایل دنبال کننده ای برای گردش در دو جهت سمت و فراز می باشد در صورتیکه این وسایل مهیا باشد این روش کلکتور را دقیقاً قادر به دنبال نمودن خورشید می کند .

کلکتور متمرکز کننده ای که با حرکت خورشیدی حرکت می کند از ابتدا شروع به قبول پرتوهای مستقیم می کند در حالیکه در ابتدای طلوع خورشید کلکتور تخت ثابت چیزی به جزء پرتوهای پراکنده را جذب نمی کنند .

در عرض جغرافیایی 40° شمالی مقدار پرتوهای مستقیم جمع آوری شده توسط چنین متمرکز کننده ای در یک روز صاف 36252KJ/m^2 در صورتیکه در همان روز برای یک کلکتور تخت با زاویه انحرافی برابر با عرض جغرافیایی بطرف بالا مقدار پرتوهای جمع آوری شده 23345KJ/m^2 می باشد .

بنابراین در یک روز نسبتاً صاف کلکتور متمرکز کننده می تواند پرتوهای بیشتری در واحد سطح دهانه نسبت به یک کلکتور تخت جذب نماید .

تمرکز

تمرکز بوسیله انعکاس پرتوهای خورشیدی را از سطوح آینه ای صاف یا منحنی حاصل می گردد . پرتوهای منعکس یافته در ناحیه کانونی متمرکز می شوند بنابراین این باعث افزایش انرژی دریافت شده در واحد سطح ناحیه کانونی می شوند .

امتیازات تمرکز:

سطح مورد لزوم جذب کننده را کاهش داده و تبعاً باعث کاهش اتلاف حرارتی (نسبت به سطح کلکتورهای تخت) می گردد این اتلاف همچنین بستگی به اختلاف درجه حرارت ابزار در هوای محیط دارد ولی چون سطوح تبادل حرارت کوچکتر می باشند این یک امتیاز به شمار می آید .

برای اتلافات مساوی یک سیستم متمرکز کننده می تواند به درجه حرارت بالاتری نسبت به کلکتورهای تخت دست یابد و این عامل در کاربردهایی مانند موتورهای خورشیدی ، پمپ کننده های آب و تولید کننده های بخار بسیار مهم می باشد .

برای یک شار تشعشعی ثابت استفاده از منعکس کننده ها به ابزربر اجازه رسیده به دماهای بالاتر را می دهد . هر چه دمای متمرکز کننده بالاتر باشد حرارت بیشتری را می تواند در حجم معینی از مایع ذخیره و هزینه ذخیره کمتر از سیستمهای بدون متمرکز کننده می گردد .

۴-۵ اشکال متمرکز کننده ها

سیستمهای متمرکز کننده پرتوهای مستقیم را روی ابزربر گرد می آورند و نسبت کلکتورهای تخت پرتوهای پراکنده خیلی کمتر را جمع آوری می نمایند و برای مناطق بسیار ابری مناسب نمی باشند .

ضریب متمرکز

ضریب تمرکز رابطه ای است بین سطحی رو به خورشید (منظور سطح منعکس کننده) و تصویر خورشید که به وسیله سیستم روی ابزربر تشکیل می شود .

تعیین ضریب تمرکز صفحات منعکس کننده با مقطع سهمی :

در صورتیکه ناظری از روی زمین خورشید را بنگرد زاویه دید او برابر ۳۲ درجه می باشد . بنابراین این پرتوهای خورشیدی در برخورد با سطحی روی زمین زاویه ای برابر ۳۲ می سازند .

در این شکل مشهود است که انشعاب شعاعهای انعکاس یافته نیز با همان زاویه a می باشد . محور صفحه منعکس کننده که از کانون سهمی می گذرد در جهت شرقی - غربی قرار می گیرد . این محور کانونی از لوله ای که به وسیله پر شده است ، تشکیل می گردد .

برای بدست آوردن تصویر خورشید روی ابزربر مثلث RFA را در نظر می گیریم .

$$d=RF$$

$$AF = t_g(a/2)d = 0.00465d$$

$$AB = 2AF = 0.00931d$$

$$AB = 2AF$$

AB قطر تصویر خورشید می باشد .

صفحه مشخص کننده با موقعیت محور کانونی و مساحتش مشخص می گردد .

$$C_r = 2 \sin \phi \times d \times L / 0.0093L \times L$$

L : در ازای لوله یا سطح منعکس کننده می باشد .

$$C_r = WD / \pi D \quad C_r = 2d / 0.0093d = 200 \quad \phi = 90^\circ \quad \text{در صورتیکه}$$

WD پهنای دهانه منعکس کننده :

تعیین درجه حرارت سطح لوله جذب کننده :

برای تعیین حرارت سیال عامل بعد از خروج لوله می بایست درجه حرارتی که لوله بر اثر تشعشع به آن می رسد باید مشخص شود .

برای این منظور فرض می کنیم انرژی دریافت شده توسط صفحه منعکس کننده برابر با انرژی تلف شده باشد این انرژی عمدتاً انرژی تابش مستقیم خورشیدی باشد . حال موازنه حرارتی را بین سطح منعکس کننده و سطح جاذب برقرار می کنیم .

$$I_r C_r \alpha = \sigma \epsilon T^2 \quad I_r = \rho I$$

I : انرژی دریافتی از خورشید که قسمت عمده آن از تابش مستقیم تأمین

می شود . w/m^2

Ir : انرژی انعکاسی دریافتی توسط لوله جذب کننده w/m^2

Cr : ضریب تمرکز

A : ضریب جذب لوله جذب کننده .

P : ضریب انعکاس صفحه منعکس کننده

جدول (۳-۳) ضریب جذب ، انعکاس و عبور فلزات .

Id_0 : تابش مستقیم از روبرو $(\text{BTU} / \text{hr.ft}^2)$

$(Z.a)$: ضریب عبور دهنده پوشش ضریب جذب تابش مستقیم از صفحه در زاویه برخورد θ

U_t : ضریب اتلاف حرارتی $(\text{BTU} / \text{hr.ft}^2)$

T_{IP}, T_{UP} : درجه حرارت صفحه جاذب و اتمسفر

m : نرخ دبی سیال $(\text{kg/s} \text{ (Lbm/h)})$

$T_{r.e.r.i}$: درجه حرارت سیال در خروج و ورود به کلکتور $(C(F))$

Q, T : ضریب انعکاس سطح متمرکز کننده و درصد انعکاس یا درصد پرتوهای که به سطح جاذب می

رسند .

A_{abc}, A_{up} : مساحت سطح جاذب و مساحت دهانه ای که اجازه عبور پرتوهای رسیده را می دهد.

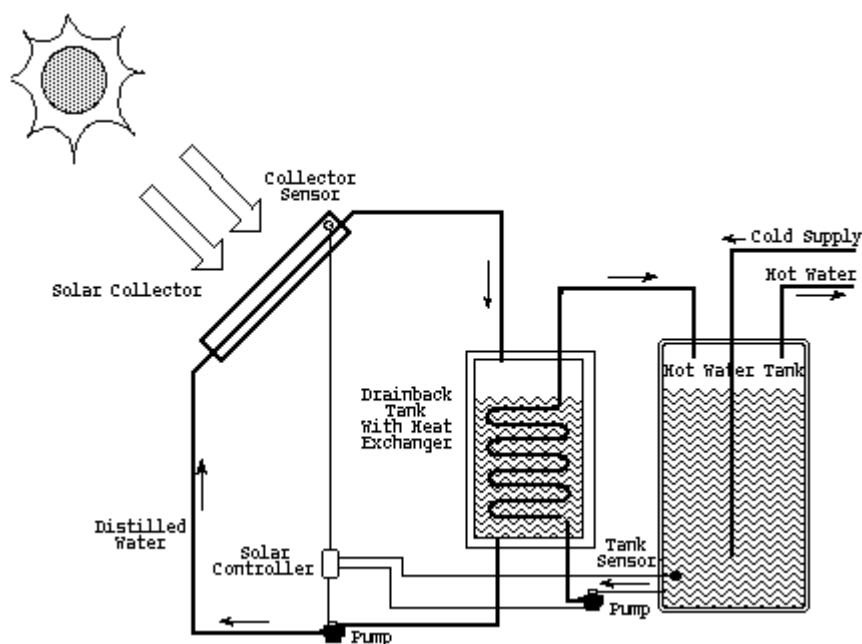
کل مقدار تابش و همچنین مقدار تابش مستقیم را می توان برای ۴۰ عرض شمالی توسط جدول بدست آورد .
مقادیر ضریب عبور شیشه های یک لایه و دو لایه و همچنین ضریب جذب برای صفحات سیاه تخت را می توان
توسط جدول برای زوایای برخورداری از ۰ درجه تا ۹۰ درجه بدست آورد .

میزان ۰-۳۰ تغییرات کمی در خواص اپتیکی خورشیدی شیشه شفاف و صفحه جاذب وجود دارد اما از آنجاییکه
تمام مقادیر تا ۰-۹۰ می بایست صفر گردند مقادیر ۰-۴۰ سرعت کاهش می یابند .

برای صفحات چاپ مشخص مقدار بطور تقریبی با درجه حرارت محیط و صفحه تعیین می کند برای صفحات
مشخص که تأثیر بسزایی در کاهش ضریب انتشار صفحه جاذب دارند . UL مقدار خیلی کمتری از مقادیر نشان
داده شده در جدول را دارد . تولید کنندگان چنین صفحاتی می بایست جوابگویی مقدار کارآیی تولیدشان باشند .
بیان کلی از راندمان کلکتور را می توان بصورت زیر نشان داد .

$$\eta = (z \times a) - UL(t_p - t_a) / I_t \theta$$

برای زوایای برخورد کمتر از $35^\circ (z \times a)$ لزوماً مقدار ثابت بوده و معادله مزبور نسبت به پارامتر $(t_p - t_a) I_t - 0$ در صورت ثابت بودن UI ، تعریف می شود اولین رابطه مهم دارای اهمیت زیادی خواهد بود. با فرض اینکه η و $(t_p - t_a) I_t - 0$ رابطه خطی دارند و همانطور که در شکل مشخص است شیب خط $1/19 = 0/82/096$ می باشد. نتایج بدست آمده حاصل آزمایش هایی است که در آزمایشگاه NASA در کلوندا انجام گردیده و عاملهایی که در اندازه گیری راندمان مؤثر بوده اند سرعت باد و سرعت سیال می باشد.



شکل ۷: زاویه برخورد

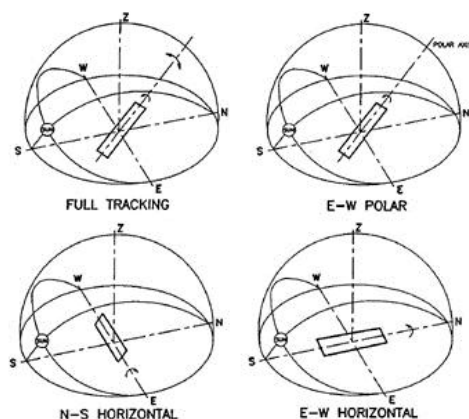
تجربه نشان می دهد که زوایای برخورد برای کلکتورهایی که رو به جنوب قرار گرفته اند در طول سال در مقیاس وسیعی تغییر می کند.

در صورتیکه سطحی را در عرض شمالی با زاویه انحراف 40° درجه و زاویه میل $\delta = 23.45^\circ$ در روزهای زمستانی در نظر بگیریم مقدار زاویه برخورد چهار ساعت قبل چهار ساعت بعد از ظهر خورشیدی برابر می باشد که در روزهای دیگر سال نزدیک به این مقدار باقی خواهد ماند.

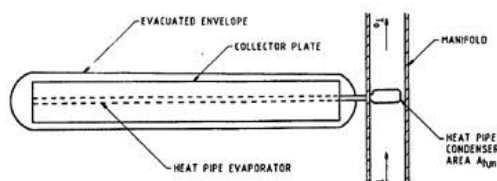
کل پرتوهای تابیده شده در این شرایط از کمترین مقدار خود $142 \frac{W}{m^2}$ در ۲۱ دسامبر تا در ماههای دیگر تغییر نماید .

هنگامی که میزان تابش کمتر از $315 \frac{W}{m^2}$ باشد . اتلافات در کلکتور ممکن است از میزان گرمایی که جذب می گردد بیشتر شود و این حالت بطور آشکار با درجه حرارت بین ورودی به کلکتور و محیط تغییر می کند. هنگامیکه زاویه برخورد از ۳۰ درجه حاصل ($z \times a$) تقلیل یافته و بنابراین گرمای جذب شده کاهش یافته و تلافات کلکتور بطور کلی بعد از ظهر خورشیدی بالا می رود و کارایی کلکتور افت می نماید .

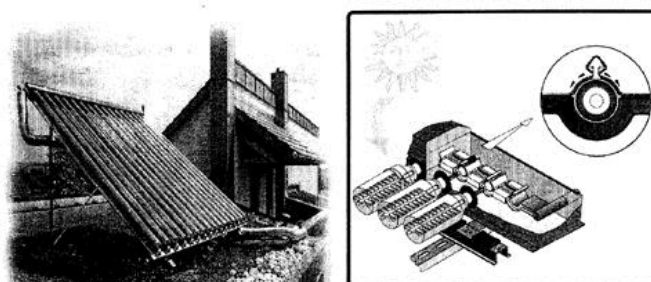
بنابراین میزان کارایی کلکتور در طول روز نسبت به عملکرد آن در نزدیکی های ظهر کمتر می باشد در آزمایشهایی که توسط یک آبگرمکن خورشیدی با صفحه جاذب تخت سیاه انجام گردیده میزان کارایی در حوالی ظهر ۰/۷۵ و در طول روز ۰/۵۰ ثبت شده است .



نوع مدل های پیگرد خورشیدی .



شماتیکی از کلکتور های لوله ای تحت خلاء .



کلکتور های لوله ای تحت خلاء .

شکل ۸

۴-۶ تحلیل حرارتی کلکتورها

انرژی مؤثر گرفته شده از کلکتور :

$$q_u = A_c [G_t \tau \alpha - U_L (T_p - T_a)] = mc_p [T_o - T_i] \quad \text{فرمول کل :}$$

با جایگزین نمودن دمای سیال ورودی (T_i) با دمای متوسط صفحه (T_p) :

$$q_u = A_c F_R [G_t (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)]$$

در جاییکه F_R فاکتور دفع حرارت می باشد .

بازده کلکتور

$$n = F_R \left[\tau \alpha - \frac{UL(T_i - T_a)}{G_t} \right]$$

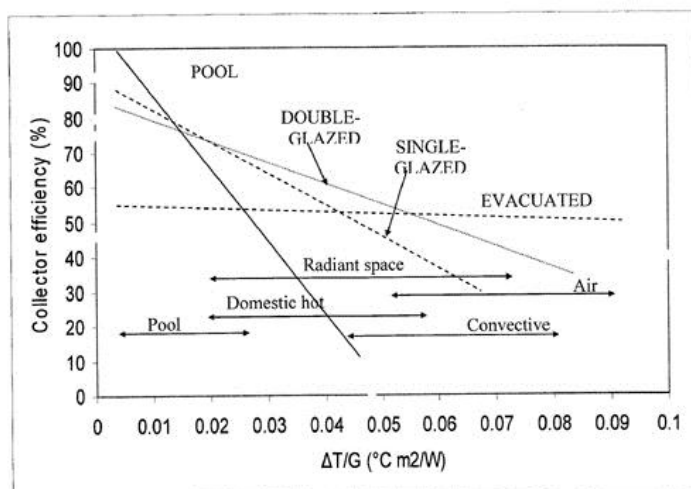
ضریب اتلاف حرارت کل

ضریب اتلاف حرارت کل تابعی پیچیده از ساختمان کلکتور و وضعیت اعمالی آن دارد و بطور تجربی برابر است با :

$$UL = U_t + U_b + U_e \quad (\text{برای کلکتور های صفحه ای})$$

برای مثال مقاومت انتقال حرارت صفحه جاذب با هوای محیط یکی از عوامل پیچیده است .

نمودار ۱



مقایسه بازده کلکتور های برای سیالات مختلف

مقایسه آبگرمکن های معمولی (گازسوز یا الکتریکی) با آبگرمکن های خورشیدی

آبگرمکن های معمولی	آبگرمکن های خورشیدی
هزینه جاری در طول عمر: ۵۰۰ دلار	هزینه جاری در طول عمر: ۵۰ دلار
مخزن ذخیره: ۵۰-۴۰ گالن	مخزن ذخیره: ۱۲۰-۸۰ گالن
عمر سیستم: ۸-۱۲ سال	عمر سیستم: ۳۰-۱۵ سال
هزینه جاری در طول عمر: ۱۰۰۰۰ دلار	هزینه جاری در طول عمر: ۱۰۰۰ دلار
افزایش آلودگی محیط زیست	پاک
کاهش سوختهای فسیلی	کاهش دهنده هزینه ها

اطلاعات شرکتهای سازنده ی آبگرمکن خورشیدی در ایران

نام شرکت	نوع فعالیت	محل کارخانه	سایت	تلفن تماس تهران و یا شهرستان
انرژی سازان آفتاب	آبگرمکن و حمام خورشیدی	تهران	www.asasolar.com	۴۴۹۸۷۲۰۴-۹
آذر سولار سازه	آبگرمکن خورشیدی	تبریز	www.solarsazeh.com	0411 -5512445
آردل	آبگرمکن و حمام خورشیدی	تهران	-	۸۸۸۷۸۴۰۷ ۸۸۸۷۸۴۰۸ ۸۸۸۷۸۴۰۹
پلار	آبگرمکن و حمام خورشیدی	اصفهان	www.polar.ir	0311 -3800280
راد نور	آبگرمکن خورشیدی گرمایشی و سرمایشی محیط	تهران	www.radnoursolar.com	۲۶۱۲۳۹۶۱-۳
سنگر کار	آبگرمکن و حمام خورشیدی	سمنان	http://sangarkar.com	۸۸۷۵۳۷۹۶
سولار پلار	سیستم های گرمایش خورشیدی	اصفهان	www.solarpolar.ir	0311 -3800280
صنعت خورشیدی پارس	آبگرمکن و حمام خورشیدی	اصفهان	www.prs-mashal.com	۸۸۳۱۱۸۹۰ - ۲
صنعت گستر سهیل	آبگرمکن و حمام خورشیدی	تهران	-	۸۸۷۳۸۸۷۳ ۲۲۵۵۲۸۶۵
فن آوران انرژی های سبز	آبگرمکن خورشیدی	اصفهان	http://www.greenenergy-t.com	۰۳۱۱-۵۷۲۲۰۰۶-۹
کیان انرژی	آبگرمکن و حمام خورشیدی	تهران	www.kianenergy.net	۴۴۰۰۱۷۴۳ ۵۶۷۱۶۶۴۰
مهرسا رویا اندیشان	آبگرمکن خورشیدی	قم	http://mehrsaco.com	22871658 - 9

توجه: اسامی تمامی تولیدکنندگان و نمایندگی های موجود در این قسمت صرفاً به منظور اطلاع رسانی بوده و تضمین کننده ی کیفیت کالا یا خدمات ارائه شده نمی باشد.

منابع :

- (۱) کتاب مقدمه ای بر انتقال گرما تالیف فرانک پی اینکروپرا و دیوید پی دویت
- (۲) www.arsesjam.com
- (۳) www.heatgreenltd.co.uk
- (۴) www.sumiran.co.in
- (۵) www.zps-solar.com
- (۶) www.asasolar.com
- (۷) www.greenenergy-t.com
- (۸) www.prs-mashal.com